

# **APLICAÇÃO DA METODOLOGIA MULTI- CRITÉRIO À QUALIDADE ACÚSTICA DE BIBLIOTECAS PÚBLICAS**

**JOÃO FILIPE DE OLIVEIRA MAGANINHO**

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de  
**MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES**

---

Orientador: Professor Doutor António Pedro Oliveira de Carvalho

JULHO DE 2009

## **MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2008/2009**

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ [miec@fe.up.pt](mailto:miec@fe.up.pt)

*Editado por*

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ [feup@fe.up.pt](mailto:feup@fe.up.pt)

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2008/2009 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2009*.

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respectivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão electrónica fornecida pelo respectivo Autor.

A meus Pais

*O tempo é suficiente para quem faz bom uso dele.*

*Leonardo da Vinci*



## **AGRADECIMENTOS**

Expresso os meus sinceros agradecimentos ao meu Orientador, Professor Doutor António Pedro Oliveira de Carvalho, pelo constante apoio e disponibilidade ao longo da realização deste trabalho, e também pelos seus preciosos ensinamentos ao longo do último ano.

Agradeço ao Eng.º António Costa pela disponibilidade apresentada ao longo deste trabalho.

Agradeço aos meus amigos, em particular à Liliana Matosinhos, e a todos os colegas de curso, nomeadamente ao Pedro Silva, pelas muitas horas de trabalho e convívio salutar que propiciaram o fortalecimento das nossas relações de amizade.

Agradeço à minha namorada, Joana Mafalda Folha Maganinho, pelo apoio e motivação que me deu, não só ao longo deste trabalho, como durante grande parte do curso, sendo dela o mérito de eu ter encontrado o rumo para o sucesso que alcancei no meu percurso académico.

Agradeço a toda a minha família pelo apoio que sempre me prestou ao longo de todos estes anos, inculcando-me os valores pelos quais rejeito a minha vida.

Agradeço à minha mãe, Júlia Maria da Silva Oliveira, por todos os sacrifícios que fez para me proporcionar a educação que tive. Apesar de incomparável, esta é a minha retribuição por todo o esforço que fizeste por mim.

Agradeço ao meu pai, Paulo Fernando Aguiar Maganinho, pelos sacrifícios que fez por mim, por tudo o que me ensinou e por todos os momentos que passamos juntos. É recordando a pessoa que eras que encontro força para ultrapassar todos os obstáculos que a vida coloca no meu caminho.

Obrigado por acreditarem em mim.



## RESUMO

O objectivo principal deste trabalho é quantificar a qualidade acústica de bibliotecas, nomeadamente através do desenvolvimento e aplicação de um algoritmo baseado na metodologia multi-critério.

Este trabalho surge na sequência de estudos já desenvolvidos sobre a qualidade acústica de outros espaços públicos: salas de audiência de tribunais e igrejas.

Sendo o principal objectivo a quantificação da qualidade acústica das bibliotecas, torna-se necessário explicar quais as condições ideais que aí se devem verificar. Assim, faz-se uma explicação prévia das noções de acústica necessárias para compreender as opções feitas na escolha dos parâmetros acústicos objectivos usados no método multi-critério. A aplicação deste método surge precedida de uma análise, não só sobre a própria aplicação do método como também da teoria subjacente. No desenvolvimento do algoritmo e perante a necessidade de arbitrar valores indicativos da importância de cada parâmetro acústico para o valor global, foi realizado um questionário a funcionários de bibliotecas acerca da qualidade acústica das mesmas. Pretende-se também através dos resultados do questionário obter a validação do método, ainda que admitindo alguma limitação desta tentativa de validação.

Os valores dos parâmetros acústicos objectivos, medidos em diversas bibliotecas públicas, e aqui usados no método multi-critério foram obtidos através de um estudo efectuado pelo Laboratório de Acústica da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto no âmbito de uma recente tese de mestrado. Os parâmetros acústicos usados foram os seguintes: tempo de reverberação ( $T_R$ ), RASTI, absorção sonora do átrio/entrada ( $A_{\text{átrio}}$ ), isolamento/contiguidade do átrio face à sala de leitura ( $D_{\text{átrio}}$ ), índice de isolamento sonoro a ruídos de condução aérea entre a sala de leitura e salas contíguas ( $D_{nT, w, \text{salas contíguas}}$ ), nível de avaliação do ruído particular de equipamentos ( $L_{Ar}$ ), índice de isolamento sonoro a ruídos de condução aérea padronizado com o exterior ( $D_{2m, nT, w}$ ) e o índice de isolamento sonoro a ruídos de percussão ( $L'_{nT, w}$ ). A partir da ligação destes parâmetros através do método multi-critério obteve-se o *Índice de Qualidade Acústica das Bibliotecas (IQAB)*.

O algoritmo obtido foi testado sobre a amostra de bibliotecas analisada, procurando-se ainda obter correlações entre o IQAB e os diversos parâmetros acústicos objectivos.

Ainda no contexto do conforto acústico das bibliotecas, acompanhou-se o trabalho efectuado na biblioteca da FEUP pelo “FEUP WSN Group”, que consistiu no desenvolvimento de um sistema de monitorização da distribuição do ruído em cada piso da biblioteca.

Realizou-se também um documento de apoio ao projecto nesta área em que se descrevem quais os requisitos de condicionamento acústico que, de acordo com o algoritmo proposto, permitem obter uma boa classificação do índice *IQAB*.

**PALAVRAS-CHAVE:** Acústica, Bibliotecas, Método Multi-Critério, Parâmetros Acústicos Objectivos, Qualidade Acústica, RASTI.





## ABSTRACT

The main goal of this work is to quantify the acoustic quality of libraries, especially through the development and application of an algorithm based on multi-criterion methodology.

This work follows studies already developed within the same research program on the acoustic quality of other public spaces as court-rooms and churches.

As the main goal is the quantification of the libraries' acoustic quality, it becomes necessary to explain which ideal conditions are necessary to check at the place. This way, it was necessary a previous explanation of the basic acoustic knowledge to understand the options made in the choice of the acoustic parameters used in the multi-criterion method. The method application appears preceded by an analysis, about the method application as well as the underlying theory. In the development of the algorithm and faced with the necessity to decide an indicative relative importance of each acoustic parameter for a representative global value, a questionnaire was carried through the libraries employees concerning the quality acoustics of those places. It is also intended, through the questionnaire results, to get a method validation, despite admitting some limitation of this attempt.

The values for the acoustic parameters, measured in many public libraries, that are used here in the multi-criterion method, were carried from a previous study made by the Laboratory of the Acoustics of the College of Engineering of the University of Porto in the scope of one recent M.Sc. thesis. The acoustic parameters used were are: reverberation time ( $T_R$ ), RASTI, sound absorption of the library entrance ( $A_{\text{átrio}}$ ), sound isolation of the entrance to the reading room ( $D_{\text{átrio}}$ ), weighted standardized level difference between the reading room and contiguous rooms ( $D_{nT,w,\text{contiguous rooms}}$ ), sound level of the equipment noise ( $L_{Ar}$ ), weighted standardized level difference of a façade ( $D_{2m,nT,w}$ ) and weighted standardized impact sound pressure level ( $L'_{nT,w}$ ). From the connection of these parameters through the multi-criterion method, it became possible to obtain the *Index of Acoustic Quality for Libraries* (IQAB in Portuguese).

The algorithm obtained was tested on the large sample of previous analyzed libraries, to get correlations between the IQAB and the diverse acoustic parameters.

Also in the context of libraries acoustic comfort, the work that was made in the library of FEUP by the "FEUP WSN Group" (development of a controlling system for the noise distribution in each library floor) was accompanied.

A document to help the acoustic project in libraries was also done where it is described the acoustic requirements of the building to be in accordance with the considered algorithm, in order to allow a good acoustic environment and also a high classification of the *IQAB* index.

**KEYWORDS:** Acoustic, Libraries, Multi-Criterion Method, Acoustic Parameters, Acoustics Quality, RASTI.



## ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS.....	i
RESUMO .....	iii
ABSTRACT .....	v

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1. ENQUADRAMENTO .....	1
1.2. OBJECTIVOS .....	1
1.2. ESTRUTURA DA TESE .....	2

<b>2. ESTADO DA ARTE .....</b>	<b>3</b>
2.1. INTRODUÇÃO .....	3
2.2. BIBLIOTECAS .....	3
2.3. METODOLOGIA MULTI-CRITÉRIO .....	4

<b>3. BASES TEÓRICAS .....</b>	<b>7</b>
3.1. INTRODUÇÃO .....	7
3.2. ACÚSTICA .....	7
3.2.1. INTRODUÇÃO .....	7
3.2.2. CORRECÇÃO ACÚSTICA .....	7
3.2.2.1. Introdução à correcção acústica .....	7
3.2.2.2. Som – Noções básicas .....	7
3.2.2.3. Propagação do som .....	9
3.2.2.4. Absorção do som .....	10
3.2.2.5. Tempo de reverberação .....	11
3.2.3. ISOLAMENTO SONORO .....	11
3.2.3.1. Introdução ao isolamento sonoro .....	11
3.2.3.2. Ruídos de condução aérea .....	12
3.2.3.3. Ruídos de percussão .....	15
3.2.3.4. Ruídos de equipamentos e instalações .....	16
3.2.4. PALAVRA .....	18
3.2.4.1. Introdução à palavra .....	18

3.2.4.2. Inteligibilidade da palavra .....	18
3.2.4.3. Privacidade da palavra .....	19
3.2.4.4. Open space.....	19
3.2.4.5. Enclosed Room.....	20
3.2.4.6. RASTI .....	21
<b>3.3. METODOLOGIA MULTI-CRITÉRIO .....</b>	<b>22</b>
3.3.1. ABORDAGEM AO TEMA .....	22
3.3.2. CRITÉRIOS E PRINCÍPIOS BÁSICOS DA METODOLOGIA MULTI-CRITÉRIO .....	23
3.3.2.1. Principais dificuldades da metodologia multi-critério .....	23
3.3.2.2. Processos de tomada de decisões .....	23
3.3.2.3. Conceitos básicos .....	23
3.3.2.4. Natureza hierárquica dos critérios .....	25
3.3.3. MÉTODO ADITIVO .....	25
3.3.3.1. Introdução ao método.....	25
3.3.3.2. Colocação do problema.....	26
3.3.3.3. Considerações teóricas .....	27
3.3.3.4. Função de valor aditiva .....	28
3.3.3.5. Metodologia .....	29
3.3.3.6. Exemplo.....	30

<b>4. METODOLOGIA MULTI-CRITÉRIO EM ACÚSTICA DE BIBLIOTECAS .....</b>	<b>37</b>
<b>4.1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>37</b>
<b>4.2. REQUISITOS PARA UM COMPORTAMENTO ACÚSTICO ADEQUADO .....</b>	<b>37</b>
<b>4.3. QUESTIONÁRIOS – DEFINIÇÃO, APRESENTAÇÃO, ANÁLISE E CONCLUSÕES .....</b>	<b>38</b>
4.3.1. DEFINIÇÃO DO QUESTIONÁRIO .....	38
4.3.2. APRESENTAÇÃO DO QUESTIONÁRIO.....	39
4.3.3. ANÁLISE DAS RESPOSTAS AO QUESTIONÁRIO .....	41
4.3.4. CONCLUSÕES DO QUESTIONÁRIO .....	52
<b>4.4. DEFINIÇÃO DOS CRITÉRIOS UTILIZADOS NO MÉTODO MULTI-CRITÉRIO .....</b>	<b>53</b>
<b>4.5. DEFINIÇÃO DAS ESCALAS DE VALOR DOS CRITÉRIOS.....</b>	<b>54</b>
4.5.1. BASES PARA A DETERMINAÇÃO DAS ESCALAS DE VALOR .....	54
4.5.2. DEFINIÇÃO DAS ESCALAS DE VALOR .....	57

4.5.2.1. Tempo de Reverberação, $T_R$ .....	57
4.5.2.2. RASTI .....	58
4.5.2.3. Absorção sonora do átrio, $A_{\text{átrio}}$ .....	59
4.5.2.4. Isolamento/contiguidade do átrio, $D_{\text{átrio}}$ .....	60
4.5.2.5. Índice de isolamento sonoro a ruídos de condução aérea entre salas contíguas, $D_{nT, w, \text{salas contíguas}}$ .....	61
4.5.2.6. Índice de isolamento sonoro a ruídos de percussão, $L'_{nT, w}$ .....	62
4.5.2.7. Índice de isolamento sonoro a ruídos de condução aérea das paredes exteriores, $D_{2m, nT, w}$ ..	63
4.5.2.8. Nível de avaliação do ruído particular de equipamentos do edifício, $L_{Ar}$ .....	64
4.5.3. DETERMINAÇÃO DO ALGORITMO MULTI-CRITÉRIO .....	66

## **5. APLICAÇÃO DO ALGORITMO MULTI-CRITÉRIO.....71**

5.1. INTRODUÇÃO .....	71
5.2. CARACTERIZAÇÃO DA AMOSTRA .....	71
5.3. APLICAÇÃO DO MÉTODO .....	74
5.3.1. INTRODUÇÃO ÀS ABORDAGENS UTILIZADAS NA APLICAÇÃO DO MÉTODO .....	74
5.3.2. ABORDAGEM I – APLICAÇÃO DO MÉTODO COM INCLUSÃO DE VALORES INTERMÉDIOS NEUTRAIS .....	74
5.3.3. ABORDAGEM II – APLICAÇÃO DO MÉTODO COM VALORES REGULAMENTARES (RRAE) .....	75
5.3.4. ABORDAGEM III – APLICAÇÃO DO MÉTODO COM VALORES DE “REQUISITOS DE CONDICIONAMENTO ACÚSTICO” .....	77
5.4. ANÁLISE DOS RESULTADOS .....	78
5.4.1. APRESENTAÇÃO DAS ANÁLISES A EFECTUAR .....	78
5.4.2. COMPARAÇÃO ENTRE AS TRÊS ABORDAGENS .....	78
5.4.3. ANÁLISE DA MELHOR E PIOR CLASSIFICAÇÕES .....	80
5.4.4. VARIABILIDADE DOS VALORES DE $IQAB$ .....	80
5.4.5. ANÁLISE DOS VALORES DE $T_R$ , RASTI E $L_{Ar}$ .....	81

## **6. “MÉTODO OPERACIONAL” DE CONTROLO DA QUALIDADE ACÚSTICA DE UMA BIBLIOTECA – CASO DA FEUP .....85**

6.1. INTRODUÇÃO .....	85
6.2. “DISTRIBUTED NOISE MONITORING SYSTEM 2” .....	85
6.2.1. MOTIVAÇÕES E OBJECTIVOS DO PROJECTO .....	85
6.2.2. DESENVOLVIMENTO DO PROJECTO .....	85

<b>6.3. RELAÇÃO “CLASSIFICAÇÃO IQAB” VS “OPINIÃO DOS UTILIZADORES”</b>	87
6.3.1. ENQUADRAMENTO	87
6.3.2. QUESTIONÁRIO – DEFINIÇÃO, APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	87
6.3.2.1. Definição do questionário	87
6.3.2.2. Apresentação do questionário	88
6.3.2.3. Análise dos resultados	89
6.3.3. CONCLUSÕES	91

## **7. REQUISITOS DE CONDICIONAMENTO ACÚSTICO PARA BIBLIOTECAS**

<b>7.1. OBJECTIVO</b>	93
<b>7.2. DEFINIÇÃO DOS REQUISITOS</b>	93
7.2.1. DELINEAÇÃO DA ANÁLISE A EFECTUAR	93
7.2.2. CONDICIONAMENTO ACÚSTICO DA SALA DE LEITURA	94
7.2.2.1. Tempo de Reverberação, $T_R$	94
7.2.2.2. RASTI	94
7.2.3. RUÍDOS DE CONDUÇÃO AÉREA	95
7.2.3.1. Descrição dos parâmetros a abordar na área temática “Ruídos de condução aérea”	95
7.2.3.2. Ruídos de condução aérea provenientes do átrio/entrada	95
7.2.3.3. Ruído proveniente de outras salas ou locais contíguos	96
7.2.3.4. Ruídos provenientes do exterior	97
7.2.4. RUÍDOS DE PERCUSSÃO	97
7.2.5. RUÍDOS DE EQUIPAMENTOS	98
<b>7.3. NOTA FINAL</b>	99

## **8. CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS**

<b>8.1. CONCLUSÕES</b>	101
<b>8.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS</b>	106

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 – Biblioteca Saxónica de Dresden – Alemanha [9] .....	5
Figura 2.2 – Cornell Law School – Nova Iorque [9] .....	6
Figura 2.3 – Biblioteca Municipal Almeida Garrett – Porto [10] .....	6
Figura 3.1 – Propagação do Som [2] .....	8
Figura 3.2 – Propagação do Som em espaço aberto [3] .....	9
Figura 3.3 – Tempos de reverberação ideais em função do uso [Cavanaugh, 1999] [2] .....	12
Figura 3.4 – Transmissão por diferentes caminhos ( <i>d</i> - directo, <i>f</i> - <i>flanking</i> , marginal) .....	12
Figura 3.5 – Comportamento típico dos valores de <i>R</i> com a frequência de qualquer elemento construtivo simples [2] .....	13
Figura 3.6 – Máquina de Impactos para medição do isolamento sonoro a ruídos de percussão [3] ....	16
Figura 3.7 – Curvas NC – Noise Criterion [4] .....	17
Figura 3.8 – Efeito da inteligibilidade de palavra <i>back</i> em dois cenários de tempo de reverberação (0,5 s e 1,5 s a tracejado) [2] .....	18
Figura 3.9 – Contornos da emissão da palavra no plano horizontal (frequências de 500 Hz e 4000 Hz) [2] .....	19
Figura 3.10 – Escritório do estilo open-space [6] .....	20
Figura 3.11 – Enclosed room .....	21
Figura 3.12 – Aparelho de medição de RASTI da Brüel & Kjaer [7] .....	21
Figura 3.13 – Correspondência entre alternativas o e espaço de consequências [10] .....	26
Figura 3.14 – Fronteira eficiente para um espaço de consequências com dois critérios [12] .....	28
Figura 3.15 – Árvore de critérios .....	30
Figura 3.16 – Função de valor do subcritério <i>Escolha das Férias</i> .....	33
Figura 3.17 – Função de Valor do critério <i>Local de Trabalho</i> .....	33
Figura 3.18 – Nova Função de Valor do subcritério <i>Dias de Férias</i> .....	35
Figura 4.1 – Percentagem de respostas à pergunta 1 do questionário (“ <i>Considera o seu local de trabalho (biblioteca) mais ruidoso do que a sua habitação?</i> ”) .....	41
Figura 4.2 – Percentagem de respostas à pergunta 2 do questionário (“ <i>Considera que o ruído afecta o seu rendimento no local de trabalho?</i> ”) .....	42
Figura 4.3 – Percentagem obtida por cada classificação na categoria <i>átrio/entrada</i> .....	43
Figura 4.4 – Percentagem obtida por cada classificação na categoria <i>ruído de conversação dentro da própria sala</i> .....	43
Figura 4.5 – Percentagem obtida por cada classificação na categoria <i>ruído proveniente de outras salas ou locais contíguos</i> .....	44

Figura 4.6 – Percentagem obtida por cada classificação na categoria <i>ruídos de percussão</i> .....	44
Figura 4.7 – Percentagem obtida por cada classificação na categoria <i>ruído proveniente do exterior</i> ..	45
Figura 4.8 – Percentagem obtida por cada classificação na categoria <i>ruído dos equipamentos de ventilação/aquecimento</i> .....	46
Figura 4.9 – Percentagem obtida por cada classificação na categoria <i>ruído de outros equipamentos</i> .	46
Figura 4.10 – Percentagem, por cada categoria, de todas as classificações obtidas.....	47
Figura 4.11 – Percentagem de vezes que cada categoria obteve as classificações 1,2 ou 3 (mais incomodativo) de entre todas as suas classificações.....	48
Figura 4.12 – Percentagem de vezes que cada categoria obteve as classificações 5, 6 ou 7 (menos incomodativo) de entre todas as suas classificações.....	48
Figura 4.13 – Percentagem de vezes que é o mais incomodativo dentro das classificações mais incomodativas.....	49
Figura 4.14 – Percentagem de vezes que é o menos incomodativo dentro das classificações menos incomodativas.....	50
Figura 4.15 – Percentagem de respostas à pergunta 4 do questionário (“ <i>Considera existir na Biblioteca algum tipo de ruído incomodativo que não tenha sido referido acima? Se <b>sim</b> indique, por favor, qual.</i> ”) .....	51
Figura 4.16 – Percentagem de respostas à pergunta 5 do questionário (“ <i>Até quanto (em euros) estaria disposto(a) a ver o seu salário diminuído para tornar excelentes as condições acústicas do seu local de trabalho?</i> ”) .....	51
Figura 4.17 – Nova análise aglutinadora à percentagem de respostas à pergunta 5 do questionário (“ <i>Até quanto (em euros) estaria disposto(a) a ver o seu salário diminuído para tornar excelentes as condições acústicas do seu local de trabalho?</i> ”).....	52
Figura5.1 – Classificações IQAB das três abordagens (I, II e III). .....	80
Figura5.2 – Histograma das classificações subjectivas de IQAB .....	81
Figura5.3 – Histograma das cotações do critério $T_R$ .....	82
Figura5.4 – Histograma das cotações do critério RASTI.....	82
Figura5.5 – Histograma das cotações do critério $L_{Ar}$ .....	83
Figura 5.6 – Correlação entre valores médios de $T_R$ e IQAB.....	83
Figura 5.7 – Correlação entre valores médios de RASTI e IQAB .....	84
Figura 5.8 – Correlação entre valores médios de $L_{Ar}$ e IQAB .....	84
Figura 6.1 – Exemplo do mapa da biblioteca a utilizar para disponibilização da informação dos níveis de ruído [2]......	87
Figura 6.2 – Percentagem de respostas à pergunta 1 do questionário (“ <i>Considera a biblioteca da FEUP mais ruidosa do que a sua habitação?</i> ”).....	89
Figura 6.3 – Percentagem de respostas à pergunta 2 do questionário (“ <i>Considera que o ruído afecta o seu rendimento quando está na biblioteca?</i> ”). .....	90
Figura 6.4 – Percentagem, por cada categoria, de todas as classificações obtidas.....	91



Figura 6.5 – Percentagem de respostas à pergunta 4 do questionário (*“Até quanto (em euros) estaria disposto(a) as suas propinas aumentadas para tornar excelentes as condições acústicas da biblioteca?”*). .....91



## ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 3.1 – Função de valor do critério <i>Função</i> .....	31
Quadro 3.2 – Função de valor do critério <i>Salário</i> .....	31
Quadro 3.3 – Função de valor do critério <i>Capacidade de Progressão na Carreira</i> .....	32
Quadro 3.4 – Função de valor do critério <i>Condições de Trabalho</i> .....	32
Quadro 3.5 – Função de valor do critério <i>Ambiente de Trabalho</i> .....	32
Quadro 3.6 – Função de valor do subcritério <i>Dias de Férias</i> .....	32
Quadro 3.7 – Pontuações globais das alternativas .....	34
Quadro 3.8 – Novas pontuações globais das alternativas .....	35
Quadro 4.1 – Importância de cada categoria de ruído em função das respostas ao questionário proposto aos funcionários das bibliotecas públicas .....	53
Quadro 4.2 – Escala de valor para o critério tempo de reverberação ( $T_R$ ) .....	58
Quadro 4.3 – Escala de valor para o critério RASTI .....	59
Quadro 4.4 – Escala de valor para o critério absorção sonora do átrio ( $A_{\text{átrio}}$ ) .....	60
Quadro 4.5 – Escala de valor para o critério isolamento/contiguidade do átrio ( $D_{\text{átrio}}$ ) .....	60
Quadro 4.6 – Escala de valor para o critério índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea entre a sala de leitura e outras salas ou locais contíguos, $D_{nT, w, \text{salas contíguas}}$ .....	61
Quadro 4.7 – Escala de valor para o critério índice de isolamento sonoro a ruídos de percussão sendo a sala de leitura o local receptor, $L'_{nT, w}$ .....	63
Quadro 4.8 – Escala de valor para o critério índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea das paredes exteriores, $D_{2m, nT, w}$ .....	64
Quadro 4.9 – Escala de valor para o critério nível de avaliação do ruído particular de equipamentos com funcionamento intermitente, $L_{Ar, \text{func. intermitente}}$ , ou funcionamento contínuo, $L_{Ar, \text{func. contínuo}}$ .....	65
Quadro 4.10 – Peso de cada critério do algoritmo .....	67
Quadro 4.11 – Escala subjectiva de conversão dos valores da IQAB obtidos .....	69
Quadro 5.1 – Listagem das bibliotecas e respectivos valores dos parâmetros acústicos objectivos medidos .....	72
Quadro 5.2 – Valores médios e valores normalizados (C) dos critérios disponíveis na amostra .....	73
Quadro 5.3 – Valores dos oito critérios e classificação do IQAB das bibliotecas da amostra através da abordagem I (com inclusão de valores intermédios neutrais – 10 valores) .....	74
Quadro 5.4 – Valores dos oito critérios e classificação do IQAB das bibliotecas da amostra através da abordagem II (com valores regulamentares – RRAE [15]) .....	76
Quadro 5.5 – Valores dos oito critérios e classificação do IQAB das bibliotecas da amostra, através da abordagem III (com valores de “Requisitos de Condicionamento Acústico” – DGLB [27]) .....	77
Quadro 5.6 – Classificações IQAB das três abordagens (I, II e III) .....	79

Quadro 5.7 – Quadro resumo da análise estatística dos valores obtidos pela abordagem I dos valores intermédios neutrais.....	81
Quadro 6.1 – Valores limite previsíveis para a escala de cores em função dos valores de $L_{A,eq}$ .....	86
Quadro 7.1 – Escala de classificação dos valores do Tempo de Reverberação.....	94
Quadro 7.2 – Escala de classificação dos valores do RASTI .....	94
Quadro 7.3 – Escala de classificação dos valores da absorção sonora do átrio.....	95
Quadro 7.4 – Escala de classificação dos valores do isolamento/contiguidade do átrio .....	96
Quadro 7.5 – Escala de classificação dos valores de $D_{nT, w}$ , salas contíguas .....	96
Quadro 7.6 – Escala de classificação dos valores de $D_{2m, nT, w}$ .....	97
Quadro 7.7 – Escala de classificação dos valores de $L'_{nT, w}$ .....	98
Quadro 7.8 – Escala de classificação dos valores de $L_{Ar}$ .....	98

## SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

$A_{\text{átrio}}$  – Percentagem de Absorção Sonora Equivalente do Átrio/Entrada em Relação à Área de Pavimento do Mesmo Local;

$D_{\text{átrio}}$  – Isolamento/Contiguidade do Átrio/Entrada face à Sala de Leitura (dB);

$D_{nT, w, \text{salas contíguas}}$  – Índice de Isolamento Sonoro a Ruídos de Condução Aérea entre a Sala de Leitura e outras Salas ou Locais Contíguos (dB);

$D_{2m, nT, w}$  – Índice de Isolamento Sonoro a Ruídos de Condução Aérea entre o Exterior e o Interior (dB);

DGLB – Direcção Geral do Livro e das Bibliotecas;

FEUP – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

IQAB – Índice de Qualidade Acústica das Bibliotecas;

$L_{Ar}$  – Nível de Avaliação do Ruído Particular de Equipamentos Colectivos do Edifício (dB);

$L'_{nT, w}$  – Índice de Isolamento Sonoro a Ruídos de Percussão (dB);

RASTI – *Rapid Speech Transmission Index*;

RNBP – Rede Nacional de Bibliotecas Públicas;

RRAE – Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios;

$T_R$  – Tempo de Reverberação (s).









# 1

## INTRODUÇÃO

### 1.1. ENQUADRAMENTO

Este trabalho está inserido no programa de investigação da acústica de bibliotecas, que teve início com o desenvolvimento de uma tese de mestrado da FEUP sobre a medição de parâmetros acústicos objectivos em bibliotecas públicas, e através da qual se obtiveram os valores dos parâmetros utilizados na aplicação do algoritmo multi-critério abordado neste texto. Este trabalho surge ainda na sequência de dois estudos já desenvolvidos pela FEUP sobre a qualidade acústica de dois espaços públicos: salas de audiência de tribunais e igrejas.

O tema deste trabalho insere-se em duas áreas distintas da ciência: a Acústica e a Investigação Operacional.

Relativamente à área da acústica, o presente trabalho enquadra-se no tema da acústica de edifícios, abrangendo dois subtemas: isolamento sonoro – tratamento do som de/para locais contíguos – e correcção acústica – correcção de um compartimento para o som aí emitido. Isto porque, num espaço onde se pretende que o silêncio impere, será tão importante que este se encontre “isolado” do exterior, como que o ruído gerado no seu interior seja rapidamente neutralizado.

Quanto à investigação operacional, é definida como sendo uma ciência do concreto, que expõe metodologias de abordagem de problemas de decisão. Entre as diversas metodologias utilizadas pela investigação operacional surge a metodologia multi-critério.

### 1.2. OBJECTIVOS

O objectivo principal deste trabalho é a realização de um algoritmo, quantificador da qualidade acústica das bibliotecas públicas, utilizando a metodologia multi-critério. Outros objectivos passam por, através da análise da amostra de bibliotecas públicas, tentar aferir correlações entre os diversos parâmetros acústicos e arquitectónicos com a qualidade acústica global. Através da análise dos resultados é possível tirar conclusões quanto às características ideais de salas que se pretendem silenciosas, ou mais genericamente, em que se pretenda a privacidade da palavra. Desta forma um dos outros objectivos que se pretende alcançar é a execução de um documento que descreva os requisitos de condicionamento acústico das bibliotecas, para apoio ao projecto nesta área.

Insere-se também nos objectivos deste trabalho a validação do algoritmo desenvolvido, pelo que na impossibilidade de quantificar parâmetros acústicos subjectivos (situação ideal), será feita através de um questionário a colocar a frequentadores diários das bibliotecas públicas, os seus funcionários. O mesmo questionário foi adaptado para ser colocado aos alunos da FEUP relativamente à sua

biblioteca, procurando desta forma obter-se a relação entre a nota obtida por esta biblioteca na aplicação do método e o seu significado subjectivo para os utilizadores.

Como se pode verificar todo o trabalho gira em torno da qualidade acústica das bibliotecas. Assim, aproveitando o trabalho de monitorização contínua do ruído produzido na biblioteca da FEUP, desenvolvido pelo *FEUP WSN Group* [1], torna-se possível a análise destes dados podendo ser tiradas conclusões no sentido de otimizar as condições acústicas que a biblioteca em questão, e todas as outras, colocam à disposição dos seus utilizadores.

### 1.3. ESTRUTURA DA TESE

Neste trabalho de investigação sobre a avaliação do desempenho acústico de bibliotecas públicas, foi desenvolvido um algoritmo multi-critério caracterizador da qualidade acústica global das bibliotecas. O trabalho foi dividido nos capítulos que se passam a descrever.

O 1º capítulo é composto por uma breve introdução que permite o enquadramento do leitor relativamente ao trabalho através da descrição do próprio trabalho e dos objectivos que se pretendem alcançar.

No 2º capítulo é feita uma abordagem às temáticas essenciais do trabalho (bibliotecas e análise multi-critério) e são apresentados os trabalhos já desenvolvidos nestas áreas.

O 3º capítulo expõe as bases teóricas da acústica e da metodologia multi-critério no sentido de permitir a adequado acompanhamento do desenvolvimento do algoritmo.

Quanto ao 4º capítulo, apresenta-se o questionário efectuado a funcionários de bibliotecas públicas e o algoritmo proposto, bem como os critérios que dele fazem parte e as respectivas escalas de valor.

No 5º capítulo procede-se à aplicação do algoritmo proposto à amostra em estudo, procurando testar a sua viabilidade. É também efectuada uma análise sob vários pontos de vista aos resultados obtidos.

Relativamente ao capítulo 6 descreve-se o acompanhamento do projecto “*Distributed Noise Monitoring System 2*” [2] desenvolvido pelo *FEUP WSN Group*. Este projecto irá fornecer aos utilizadores informação em tempo real quanto ao ruído produzido na biblioteca da FEUP, sendo assim uma forma de medição da qualidade acústica de uma biblioteca pública. É ainda apresentado o questionário realizado aos alunos da FEUP sobre a qualidade acústica da sua biblioteca.

No capítulo 7 procede-se à elaboração e justificação dos valores descritos como sendo os requisitos de condicionamento acústico necessários para que uma biblioteca obtenha uma boa classificação do *Índice de Qualidade Acústica das Bibliotecas* (IQAB).

Por último, no 8º capítulo, estão patentes as conclusões e pistas para o desenvolvimento de trabalhos futuros.

# 2

## ESTADO DA ARTE

### 2.1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo faz-se uma abordagem a duas temáticas, bibliotecas e análise multi-critério, através da referência e síntese de alguns estudos nestas áreas. Relativamente às bibliotecas além de mencionar a tese de mestrado da FEUP “Caracterização Acústica de Bibliotecas em Portugal e Análise de Influência na Reabilitação Acústica” [3] de A. Costa (2009), faz-se ainda um pequeno sumário da evolução e das tendências de organização do espaço físico das bibliotecas ao longo dos tempos. Quanto à metodologia multi-critério são referidas duas teses de mestrado integrado da FEUP, que tal como o presente trabalho, recorrem à metodologia multi-critério para desenvolver algoritmos de quantificação da qualidade acústica de espaços públicos.

### 2.2. BIBLIOTECAS

O estudo da acústica em bibliotecas, na FEUP, teve início com a tese de mestrado “Caracterização Acústica de Bibliotecas em Portugal e Análise de Influência na Reabilitação Acústica” [3] de A. Costa, finalizada a par da realização deste trabalho. Entre 2007 e 2009 A. Costa realizou medições acústicas objectivas em 25 bibliotecas públicas portuguesas, sendo o tempo de reverberação, o RASTI e o nível de avaliação do ruído particular dos equipamentos, os parâmetros acústicos objectivos medidos. Sendo este o único trabalho sobre bibliotecas, os valores exactos dos parâmetros usado no presente trabalho têm como fonte esse trabalho de A. Costa (2009) [3].

A arquitectura, principalmente do interior dos edifícios, assume grande importância para as condições acústicas. Assim considera-se importante o estudo das tendências de organização do espaço físico das bibliotecas, com o intuito de tentar adaptar o algoritmo a desenvolver às presentes e futuras condições do espaço.

Biblioteca é, segundo a definição tradicional do termo, o espaço físico onde se guardam livros. As primeiras bibliotecas surgiram na Mesopotâmia, cerca de 3000 a.C. [4], as quais tinham a responsabilidade de guardar e manusear o material escrito. Embora as bibliotecas já existissem há alguns séculos, só a partir do século XVI (em Portugal apenas no século XVIII) é que as bibliotecas passaram a ser públicas. Originalmente as bibliotecas tinham como única função guardar livros e manuscritos, sendo a consulta autorizada apenas aos monges ou aos “homens das letras e das ciências”. Contudo, evoluiu-se no sentido do acesso generalizado à informação, fornecendo ao público informação especializada em diferentes áreas do conhecimento. A primeira biblioteca portuguesa a receber oficialmente a designação de pública foi a Real Biblioteca da Corte, criada a 29 de Fevereiro de 1796 por alvará régio do príncipe regente D. João [5], sendo seguida pelo aparecimento de diversas

bibliotecas públicas em todo o país ao longo do século XIX, devido principalmente à criação das Bibliotecas Populares. Actualmente o conceito de biblioteca está alterado devido essencialmente à explosão tecnológica – apareceram os computadores nas bibliotecas e os fundos documentais surgem agora nos mais diversos suportes – em grande contraste com as primitivas tábuas de argila, papiros e pergaminhos. Apesar de no presente haver, com a introdução das novas tecnologias, uma grande alteração da organização do espaço físico das bibliotecas, prevê-se que a maior mudança surja num futuro próximo com o aparecimento de espaços para estudo em grupo.

Em relação à organização do espaço físico das bibliotecas públicas, podemos definir claramente quatro conceitos de organização do espaço. No conceito original, as bibliotecas públicas eram espaços com uma sala de leitura repleta de estantes que cobriam as paredes, ficando o centro da sala reservada para as mesas onde os utilizadores se dispunham, havendo uma separação física entre este espaço e os serviços técnicos e administrativos (figura 2.1). A organização do espaço físico das bibliotecas encaixava no conceito *enclosed room* se atendermos à divisão dos diferentes serviços, quanto à sala de leitura sendo um único espaço enquadra-se no conceito *open space* uma vez que nesse mesmo espaço se encontravam todos os utilizadores. Avançou-se depois para uma nova vertente dentro do conceito *open space*, situação caracterizada pelo funcionamento de todos os serviços num único espaço, sendo o único elemento de separação as estantes, que funcionam como barreiras visuais e conferem algum isolamento sonoro (figura 2.2). Este novo conceito surge associado ao aparecimento dos computadores nas bibliotecas, pelo que estes talvez tenham contribuído para esta nova tendência. «Talvez» porque esta opção continua a ser da responsabilidade do arquitecto, que poderia optar pela individualização destas duas “gerações” de informação. Surgiram também novas áreas temáticas, como por exemplo as secções infantis (“bebeteca”), bares e zonas destinadas a deficientes visuais. Actualmente estamos a viver uma nova tendência que apesar de dar continuidade à anterior, inova com o aparecimento de uma abertura central que liga todos os pisos das bibliotecas, de que são exemplos a Biblioteca da FEUP e a Biblioteca Almeida Garrett (figura 2.3), ambas no Porto. Esta propensão para a ligação dos diversos espaços é claramente negativa do ponto de vista da acústica, uma vez que permite a propagação do som pelos diversos espaços, criando assim um mau ambiente. Estes conceitos (*open space* e abertura entre pisos) alavancam a já natural importância da acústica na concepção de bibliotecas, visto que tornam mais ruidosos estes espaços de leitura, que silenciosos se pressupõem. A nova tendência de organização dos espaços físicos das bibliotecas irá dar ainda mais ênfase à acústica. Ao longo dos últimos anos verificou-se, principalmente nas bibliotecas de escolas e universidades, três categorias de utilizadores: silencioso e concentrado, o uso do computador e o estudo descontrado e em grupo. Assim, verifica-se a tendência para o desenvolvimento de diferentes áreas destinadas às diferentes vertentes. Devido ao contraste de comportamento que implicará diferentes condições de ruído nas diversas salas, será necessário promover condições acústicas que estimulem a produtividade e aumentem a eficiência dos utilizadores – quer seja com computadores, livros ou grupos de estudo – através da disponibilização de boas condições de conforto.

### 2.3. METODOLOGIA MULTI-CRITÉRIO

Tal como no presente trabalho já anteriormente a metodologia multi-critério foi utilizada para desenvolver algoritmos de quantificação da qualidade acústica de espaços públicos, nomeadamente através de duas teses de mestrado integrado da FEUP, são elas: “Metodologia multi-critério para análise da qualidade acústica em salas de audiência de tribunais” [6] e “Metodologia multi-critério para análise da qualidade acústica em igrejas” [7]. Ambas as teses citadas utilizam o mesmo processo da metodologia multi-critério para elaborar o respectivo algoritmo. No entanto cada trabalho tem uma

abordagem diferente na ligação com os parâmetros acústicos usados no desenvolvimento do algoritmo, pelo que se justifica uma análise individualizada de cada trabalho.

Em “Metodologia multi-critério para análise da qualidade acústica em salas de audiência de tribunais”, Diana Vidal (2008) desenvolveu um algoritmo multi-critério baseado em parâmetros acústicos objectivos [6]. O processo de decisão dos parâmetros a usar e do peso de cada um deles no valor global quantificador da qualidade acústica foi baseado no conhecimento da autora e assentaram em pressupostos puramente subjectivos por esta definidos. Posto isto, a autora optou por utilizar o «caso determinístico da metodologia multi-critério discreta», que tem como suporte alternativas explícitas (salas de audiência de tribunais) e em que são exactos e conhecidos os valores dos critérios definidos (valores dos critérios obtidos por medição).

Em “Metodologia multi-critério para análise da qualidade acústica em igrejas” [7], José Loureiro (2008) deu continuação a um estudo já longo, realizado pelo Laboratório de Acústica da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, sobre a “Acústica de Igrejas” [8]. Neste caso foi utilizado o “método multi-critério aditivo simples”, que por outras palavras designa o mesmo método utilizado por Vidal (2008). A definição da importância da palavra e da música no valor global que quantifica a qualidade acústica de uma igreja foi uma decisão subjectiva do autor, contudo, dentro de cada um destes parâmetros, a definição dos pesos de cada um dos diversos sub-parâmetros foi feita por um processo analítico. É neste ponto que reside a grande diferença entre este estudo e o anteriormente referido, isto porque enquanto Vidal (2008) apenas possuía dados de parâmetros objectivos, Loureiro (2008) fez uso dos parâmetros acústicos subjectivos de cada igreja para avaliar os pesos de cada sub-parâmetro, desenvolvendo assim um algoritmo mais fiável, isto é, assente em dados concretos directamente relacionados com as igrejas, não sendo apenas a tradução da opinião do autor. Tal como Vidal, Loureiro tem como incógnitas os parâmetros acústicos objectivos, o que é justificado pela maior facilidade com que estes são obtidos em relação aos parâmetros acústicos subjectivos, tendo sido devidamente fundamentada teórica e analiticamente a relação entre os dois tipos de parâmetros.



Figura 2.1 – Biblioteca Saxónica de Dresden – Alemanha [9].

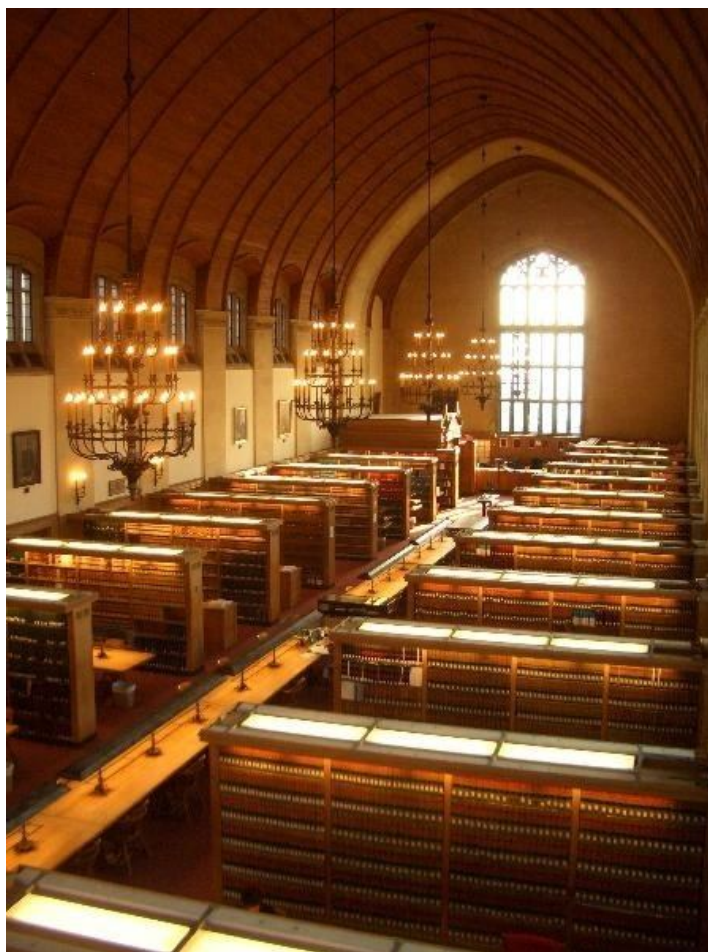


Figura 2.2 – Cornell Law School – Nova Iorque [9].



Figura 2.3 – Biblioteca Municipal Almeida Garrett – Porto [10].

# 3

## BASES TEÓRICAS

### 3.1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo abordam-se os conceitos teóricos considerados fundamentais para a compreensão do desenvolvimento do algoritmo multi-critério num caso da área da acústica. Torna-se assim necessário definir alguns conceitos acústicos e, em seguida, explicar o funcionamento da metodologia multi-critério.

### 3.2. ACÚSTICA

#### 3.2.1. INTRODUÇÃO

A Acústica pode ser definida como o estudo da geração, transmissão e recepção de energia, através de um meio, sob a forma de ondas vibracionais [11]. A acústica abrange uma amplitude de temas que excedem o âmbito deste trabalho pelo que se optou por abordar alguns conceitos base relacionados com o tema, nomeadamente a correcção acústica, o isolamento acústico e a palavra. Ao longo do texto são definidos vários parâmetros acústicos, alguns dos quais utilizados no desenvolvimento do algoritmo multi-critério. Faz-se referência a todos os pormenores de cada tema que possam estar relacionados com o estudo acústico das bibliotecas.

#### 3.2.2. CORRECÇÃO ACÚSTICA

##### 3.2.2.1. Introdução à correcção acústica

O estudo da propagação do som num espaço fechado é designado por correcção acústica e tem como objectivo dotar esse espaço fechado de características que permitam alcançar um ambiente acústico de acordo com o uso para o qual é projectado.

##### 3.2.2.2. Som – Noções básicas

O som pode ser definido como qualquer variação de pressão, em qualquer meio, que o mecanismo auditivo consegue detectar e que resulta na percepção do som. Fisicamente o estímulo sonoro pode-se descrever como a vibração de um meio elástico (que no caso do ar se traduz por uma variação de pressão) que uma vez estimulado transmite esse estímulo às moléculas (ou partículas) adjacentes – pela colisão das partículas do meio, umas contra as outras, sucessivamente mas sem deslocação permanente das mesmas – e até chegarem ao ouvido. Criam-se assim zonas de compressão seguidas de



rarefação de moléculas que se propagam no espaço (figura 3.1). Se o resultado dessa vibração (no cérebro) for agradável ou tiver significado auditivo temos *som*, se não tiver significado auditivo ou for desagradável temos *ruído*. [12]

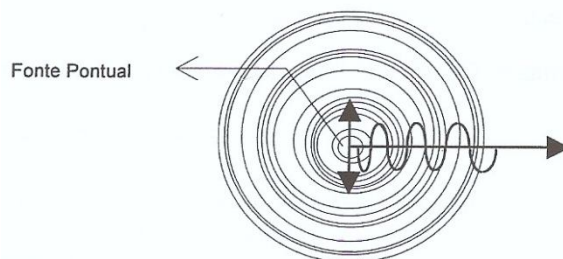


Figura 3.1 – Propagação do Som [2].

O número de variações completas de pressão por segundo representa a frequência do som ( $f$ ) e é medida em hertz (Hz). A frequência do som pode ser descrita como o “tom” com que determinado som é produzido. Uma característica do som directamente ligada à frequência é o período. O Período ( $T$ ) de um som é o tempo que este demora a efectuar um ciclo completo de variação da pressão, sendo calculado como o inverso da frequência e medido em segundos (s). O comprimento de onda ( $\lambda$ ) é outra característica das ondas sonoras, sendo definido como a distância entre dois pontos idênticos consecutivos de uma onda periódica. O comprimento de onda é medido em metros (m) e calculado como sendo a razão da celeridade (ou velocidade de propagação das ondas no meio) pela frequência. Analisando essa expressão pode-se rapidamente concluir que as altas frequências têm pequenos comprimentos de onda enquanto as baixas frequências têm grandes comprimentos de onda.

A gama de audibilidade humana no domínio da frequência, para um ser humano jovem de audição normal, varia entre os 20 Hz e os 20 kHz. No domínio da pressão situa-se entre os 20  $\mu\text{Pa}$  (limiar da audição) e os 100 Pa (limiar da dor), verificando-se assim uma grande amplitude de valores, que na escala linear em pascal conduziria a valores pouco práticos. Optou-se então por utilizar outra unidade para avaliar a pressão: o decibel (dB). O decibel é um rácio entre uma quantidade medida e uma quantidade de referência, para a qual foi adoptado o valor de 20  $\mu\text{Pa}$  (expressão 3.1). A escala em decibel é logarítmica apresentando assim outra vantagem em relação à escala linear de pascal que é o facto de oferecer uma melhor aproximação à percepção do ouvido humano, uma vez que o ouvido humano reage de forma quase logarítmica aos estímulos sonoros. Relativamente ao ouvido humano existe uma particularidade de grande importância para este estudo que é a variação da sensibilidade auditiva em função das frequências. O ouvido humano é mais sensível para frequências na zona dos 2300 aos 2800 Hz – frequências de emissão das consoantes – sendo muito pouco sensível para baixas frequências. No entanto a variabilidade depende também da intensidade sonora do próprio som.

$$L_p = 10 \cdot \log_{10} \frac{p^2}{p_0^2} \quad (3.1)$$

Para exprimir essa particularidade “humana” e portanto a real e subjectiva sonoridade de um ruído é necessário “corrigir” a sensibilidade dos equipamentos de modo a que seja semelhante à do ouvido humano. Introduziram-se então os filtros electrónicos nos aparelhos de medida que corrigem os valores rastreados. As curvas que representam as correcções efectuadas em função das frequências do som captado são chamadas curvas de ponderação e a mais usada é denominada como Curva (ou Filtro) A. Assim, a tradução por um valor global da energia acústica de um ruído filtrado pela curva de ponderação do tipo A é designado por nível sonoro, cuja unidade é o dB(A). O nível sonoro é obtido



através da soma logarítmica dos valores obtidos para cada frequência por adição algébrica dos valores captados dos níveis de pressão sonora em dB com os valores correctivos (ponderações). [12]

### 3.2.2.3. Propagação do som

Em espaço aberto, longe da influência de objectos reflectores sonoros, o som de uma fonte sonora pontual e omnidireccional é uniformemente propagado em todas as direcções (figura 3.2). A propagação do som no ar pode ser comparada com as ondas provocadas pela queda de uma pedra num lago. Essas ondas expandem-se uniformemente em todas as direcções diminuindo em amplitude conforme se afastam do centro, tal como a intensidade do som que diminui consoante aumenta a distância à fonte.

Face a um obstáculo no caminho do som, parte do som é absorvido, parte é reflectido e o restante é transmitido através do objecto. A quantidade de som absorvido, reflectido ou transmitido depende das propriedades do objecto, do seu tamanho e do comprimento de onda do som incidente.

No interior de um espaço fechado verifica-se a geração de um campo acústico de natureza diferente do campo acústico originado em espaço aberto. Tal facto deve-se à impossibilidade da propagação do som se efectuar livremente desde a fonte sonora uma vez que as superfícies envolventes e o recheio do espaço interior reflectem e absorvem parte da energia sonora transmitida pela fonte, criando-se assim um campo sonoro com variações dos níveis de intensidade sonora que deixam de ser dependentes apenas da distância do receptor à fonte. Perante um compartimento onde se encontram uma fonte e um receptor sonoros, quando a fonte entra em funcionamento criam-se ondas sonoras que podem ser de origem directa ou reflectida. A primeira onda sonora a atingir o receptor é o som directo, que se propaga num percurso em linha recta desde a fonte. Após um curto intervalo de tempo denominado de tempo de atraso inicial – cerca de 1 ms para compartimentos de volume pequeno – o receptor é atingido por inúmeras reflexões provenientes da envolvente e dos obstáculos existentes no compartimento. Devido às constantes reflexões e à absorção pelo ar, as reflexões que vão chegando ao receptor tornam-se sucessivamente mais fracas. Se a fonte sonora for desligada o som continua presente no compartimento durante um certo intervalo de tempo, sendo este maior ou menor dependendo das características da envolvente. As reflexões serão recebidas e correctamente percebidas pelo receptor enquanto o seu nível de pressão sonora for superior ao do ruído de fundo. Este intervalo de tempo que o som demora a cessar por completo (decair 60 dB) após a fonte sonora parar de emitir é denominado tempo de reverberação, T.

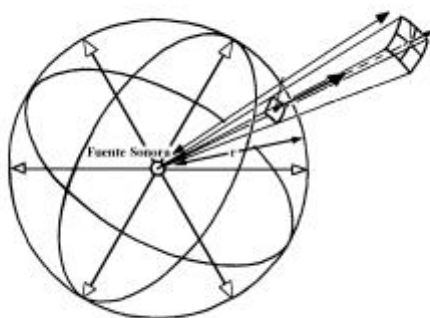


Figura 3.2 – Propagação do Som em espaço aberto [13].

### 3.2.2.4. Absorção do som

“Na Natureza nada se cria, nada se perde, tudo se transforma”, a citação do químico francês Lavoisier ilustra na perfeição o mecanismo de absorção sonora dos materiais. Isto porque a absorção sonora é a propriedade que possuem certos materiais de poderem transformar a energia sonora que sobre eles incide em qualquer outra modalidade de energia, geralmente a térmica [12].

A razão entre a energia sonora absorvida e a energia sonora incidente, num dado material, designa-se por Coeficiente de Absorção Sonora ( $\alpha$ ). O coeficiente de absorção sonora de um material varia com a frequência e com o ângulo de incidência da onda sonora no material. Num compartimento o som propaga-se em todas as direcções pelo que se torna importante que o coeficiente de absorção sonora dos materiais seja medido nessas mesmas condições, usando-se para isso uma câmara reverberante. A câmara reverberante é um compartimento em que todas as superfícies são extremamente reflectoras e onde existe um campo sonoro difuso, possibilitando assim inúmeras reflexões das ondas sonoras que seguem as mais variadas direcções. Para obter o coeficiente de absorção sonora de um material através da câmara reverberante realizam-se duas medições do tempo de reverberação no interior da câmara, uma sem o material e outra com o material, sendo depois possível obter o  $\alpha$  do material através de relações matemáticas. Este parâmetro pode apresentar valores entre 0 (reflexão total) e 1 (absorção total).

A partir das áreas dos elementos da envolvente e dos respectivos coeficientes de absorção sonora é possível determinar a Absorção Sonora Equivalente ( $A$ ) através da expressão (3.2):

$$A = \sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot S_i \quad (3.2)$$

onde  $\alpha$  é o coeficiente de absorção sonora do elemento e  $S$  a superfície real do elemento ( $m^2$ ).

Uma vez que nenhum material absorve totalmente o som em todas as frequências, perante o ruído comum de um compartimento e após a incidência das ondas sonoras nos materiais, apesar de parte do som ser absorvido e parte ser transmitido através do objecto, parte do som é sempre reflectido. Nos espaços fechados essa reflexão do som pode ter consequências variadas consoante a forma da envolvente. Perante uma superfície côncava verifica-se uma concentração do som, aumentando assim a intensidade sonora em alguns pontos. Uma superfície convexa permite, por outro lado, uma melhor distribuição do som pela sala, actuando como um difusor no sentido de diminuir a intensidade sonora. Numa superfície plana não se geram os efeitos supra referidos uma vez que a reflexão do som se faz com o mesmo ângulo com que incide. De salientar ainda que para qualquer configuração da envolvente o tipo de materiais por que esta é composta influenciará o comportamento da parede face à energia sonora incidente.

Perante a emissão de uma fonte sonora num compartimento, são produzidos dois campos sonoros. Um é o campo sonoro directo, que tem origem nas ondas directas. O outro é o campo sonoro reverberado, produzido pelas reflexões das ondas sonoras na envolvente. Assim, em qualquer ponto de um compartimento, o nível de pressão sonora é consequência da sobreposição destes dois campos sonoros, havendo pontos em que prevalece um ou outro campo. Através da expressão que relaciona o nível de intensidade sonora com o nível de potência sonora num compartimento pode-se facilmente concluir que o campo directo é função da distância à fonte, decrescendo com o aumento desta, e que o campo reverberado é função da absorção sonora do compartimento (3.3):

$$L_I = L_W + 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot r^2} + \frac{4}{R} \right), \quad \text{em que} \quad R = \frac{A}{1 - \alpha_{\text{medio}}} \quad (3.3)$$

onde  $L_I$  é o nível de intensidade sonora perceptível (dB),  $L_W$  o nível de potência sonora da fonte (dB),  $Q$  o coeficiente de direccionalidade da fonte sonora e  $r$  a distância entre a fonte sonora e o ouvinte (m).

A expressão também permite identificar como se deve actuar perante uma grande produção de ruído. Para diminuir a contribuição do campo directo pode-se diminuir a direccionalidade (Q), colocar ecrãs ou, se possível, aumentar a distância à fonte. Quanto ao campo reverberado a única forma de actuação será na absorção sonora, que uma vez aumentada incrementará o valor de R (3.3).

### 3.2.2.5. Tempo de reverberação

Por definição o tempo de reverberação é o tempo que o nível de pressão sonora demora a decair 60 dB desde que a fonte sonora pára de emitir, ou dito de outra forma, é o tempo que a intensidade sonora demora para diminuir 1 milionésimo ou a pressão sonora para diminuir 1 milésimo [12]. Em termos simplistas, pode-se dizer que o tempo de reverberação é o tempo que um som demora a extinguir-se, ou seja, até deixarmos de o ouvir.

A fórmula mais usual para relacionar o tempo de reverberação com a absorção sonora interior de um local é a fórmula de Sabine (3.4):

$$T = \frac{0,16 \cdot V}{A} \quad (3.4)$$

onde  $V$  é o volume do compartimento ( $m^3$ ),  $A$  a absorção sonora equivalente ( $m^2$ ) e em que a constante 0,16 pode ser correctamente calculada através da expressão  $(24 \cdot \ln(10))/c$ , onde  $c$  é a celeridade medida em m/s e dependente da temperatura:  $c=20,045 \cdot (T)^{1/2}$ , com  $T$  em graus kelvin. A fórmula de Sabine permite obter bons resultados quando se verificam determinadas condições que são: campo sonoro difuso e coeficiente de absorção sonora média inferior a 0,20. Devido a estas limitações surgiram outras fórmulas que tentam colmatar as limitações da fórmula de Sabine, como por exemplo as fórmulas de Eyring, Millington-Sette ou Kuttruff. De uma forma genérica a sistematização da fórmula de Sabine conduz à expressão (3.5):

$$T = \frac{0,16 \cdot V}{\sum_{i=1}^N \alpha_i \cdot S_i + \sum_{j=1}^M A_j + m \cdot V} \quad (3.5)$$

onde  $\alpha$  é o coeficiente de absorção sonora do elemento,  $S$  a superfície real do elemento ( $m^2$ ),  $V$  é o volume do compartimento ( $m^3$ ) e em que, no sentido de melhorar a análise da absorção sonora, se tem em conta não só a absorção sonora dos materiais como também as absorções sonoras localizadas ( $A_j$ ) e a absorção do ar ( $m$ ).

O tempo de reverberação é o parâmetro mais utilizado na avaliação da qualidade acústica de espaços fechados, principalmente devido à facilidade com que é determinado e usado nos cálculos, não havendo nenhum outro parâmetro que o iguale nestas condições.

Devido à dualidade de efeitos possíveis de serem provocados pelo tempo de reverberação no som de um espaço fechado, há que adaptar o tempo de reverberação de um determinado espaço ao fim a que este se destina. Existem inúmeras publicações que relacionam o tempo de reverberação ideal para um determinado espaço com o seu volume, no entanto esta metodologia caiu em desuso sendo substituída pela definição de tempos de reverberação ideais unicamente em função do uso do espaço (figura 3.3).

## 3.2.3. ISOLAMENTO SONORO

### 3.2.3.1. Introdução ao isolamento sonoro

O isolamento sonoro é um factor acústico extremamente importante uma vez que a qualidade e o conforto acústicos estão estreitamente relacionados com a capacidade de isolar os ruídos externos. Naturalmente que num espaço onde se ambiciona que prevaleça o silêncio, como é o caso das bibliotecas, torna-se fundamental assegurar esta capacidade de isolamento da envolvente.

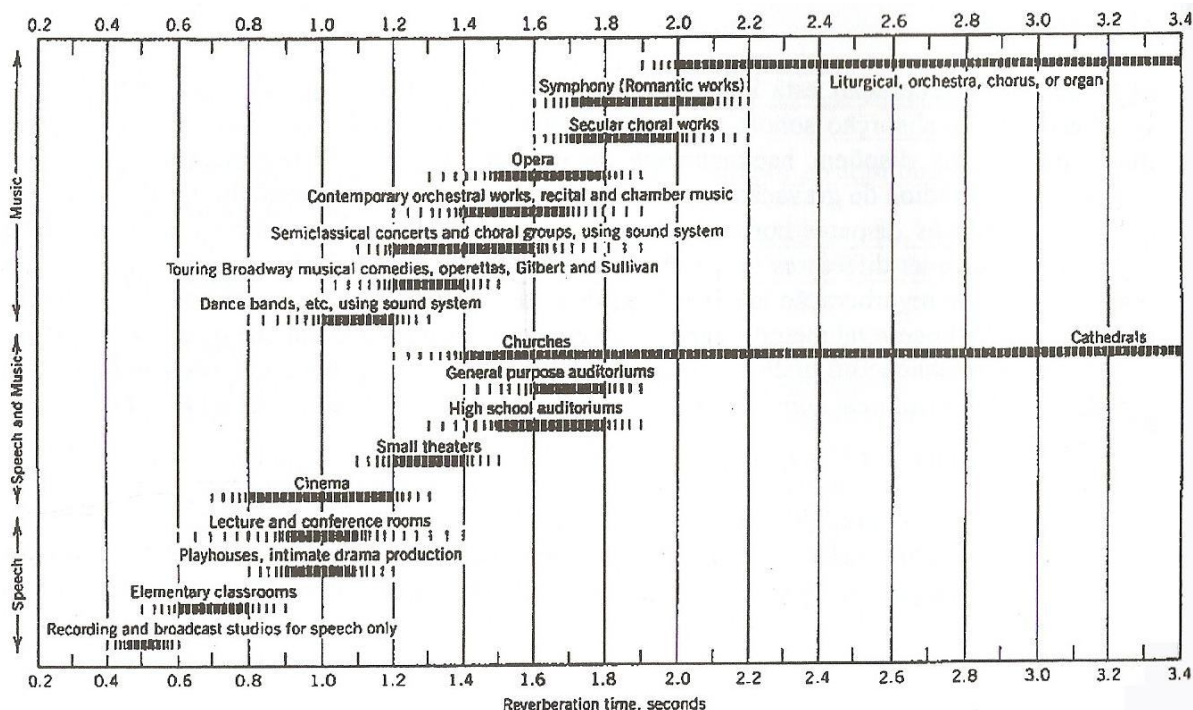


Figura 3.3 – Tempos de reverberação ideais em função do uso [14].

### 3.2.3.2. Ruídos de condução aérea

Os ruídos de condução aérea caracterizam-se por serem transmitidos unicamente por vibração do ar. Este fenómeno é bastante complexo, sendo geralmente a sua análise dividida nas duas formas através das quais os ruídos de condução aérea se transmitem entre dois espaços: as transmissões directas e as transmissões indirectas, marginais ou secundárias (figura 3.4). Nas transmissões directas o som atravessa apenas o elemento de separação comum aos dois espaços, enquanto nas transmissões marginais este se propaga através dos elementos adjacentes. A transmissão de ruídos de condução aérea realiza-se por vibração do elemento envolvendo inúmeras variáveis, as quais são responsáveis pela complexidade da análise deste fenómeno. O comportamento dos elementos separadores face ao som incidente depende de vários parâmetros, entre os quais se destacam a massa do elemento, a existência ou não de duplicação física desse elemento, a frequência do som incidente e o seu ângulo de incidência, a frequência crítica, frequências próprias, a rigidez e o amortecimento.

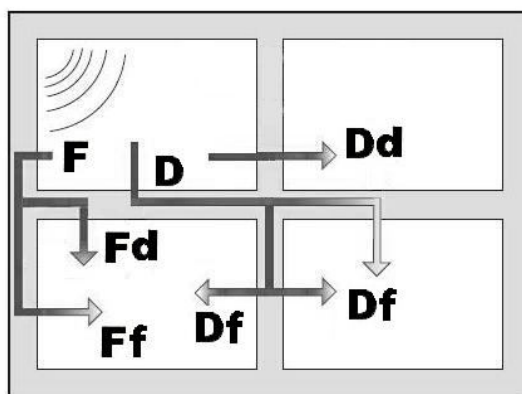


Figura 3.4 – Transmissão por diferentes caminhos (*d* - directo, *f* - flanking, marginal).

A redução sonora,  $R$  (dB), para um dado elemento, caracteriza o seu isolamento sonoro a ruídos aéreos, sendo genericamente definida por (3.6):

$$R = 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{1}{\tau} \right) \quad (3.6)$$

em que  $\tau$  é o coeficiente de transmissão que representa a razão entre a energia sonora transmitida pelo objecto para o espaço adjacente face à energia que sobre ele incide. Como se verifica na figura 3.5, a redução sonora não obedece a um único modelo teórico, apresentando uma grande oscilação de valores em função da frequência. No entanto e como já foi referido, este é um processo complicado devido ao complexo comportamento dos elementos, razão pela qual esta fórmula genérica não apresenta grande utilidade prática.

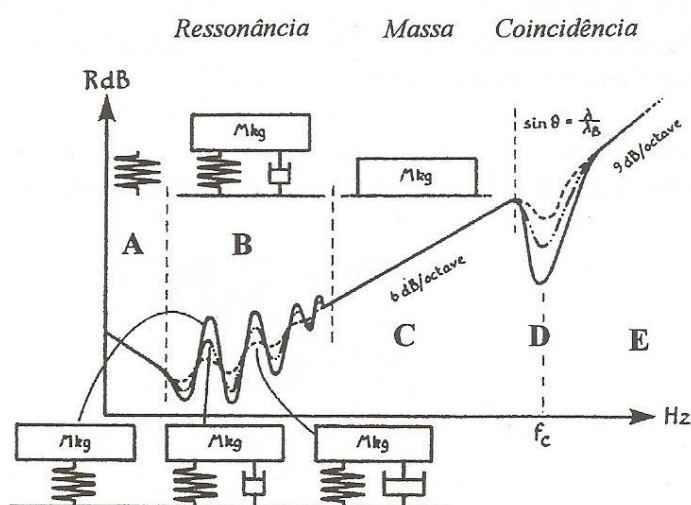


Figura 3.5 – Comportamento típico dos valores de  $R$  com a frequência de qualquer elemento construtivo simples [12].

Na prática a quantificação do isolamento sonoro a ruídos aéreos depende de estarmos em fase de projecto ou perante a obra concluída. Em fase de projecto é possível através de vários métodos a previsão da quantificação deste valor. Após a construção é a partir de medições que se obtém esse parâmetro, sendo este caso alvo de maior atenção uma vez que foi utilizado por A. Costa (2009) [3]. Nas medições é necessário determinar o nível de pressão sonora do compartimento emissor ( $L_1$ ) que após transmissão por vibração dos elementos da envolvente gera um determinado nível de pressão sonora no receptor ( $L_2$ ).

Na situação mais simples, não considerando as transmissões marginais, associada a medições em laboratório em câmaras reverberantes, a diferença entre os níveis de pressão sonora do emissor e do receptor é designada por isolamento sonoro bruto ( $D$ ), que representa o isolamento sonoro sem qualquer tipo de correcção, por banda de frequência (dB) (3.7):

$$D = L_1 - L_2 \quad (3.7)$$

Estando garantidos certos pressupostos, de acordo com a norma NP EN 140-3, a relação entre  $L_1$  e  $L_2$  com  $R$  é possível através da expressão (3.9):

$$D = L_1 - L_2 = R + 10 \cdot \log \left( \frac{A}{S} \right) \quad (3.8)$$

ou

$$R = L_1 - L_2 - 10 \cdot \log\left(\frac{A}{S}\right) \quad (3.9)$$

sendo A a área de absorção sonora equivalente existente no compartimento receptor ( $m^2$ ) e S a superfície do elemento de separação ( $m^2$ ). De salientar a importância das condições acústicas do espaço receptor, aqui representado pela absorção sonora.

Caso se considerem as transmissões marginais, situação mais vulgar que corresponde a medições *in situ*, o conceito anteriormente explanado é aplicado de igual forma havendo apenas uma alteração na nomenclatura, em que a plica (') indica a existência de transmissões marginais:

$$D = L_1 - L_2' = R' + 10 \cdot \log\left(\frac{A}{S}\right) \quad (3.10)$$

Devido às diferentes condições em que as medições podem ser feitas e para efectuar verificações regulamentares, utiliza-se o isolamento sonoro padronizado,  $D_{nT}$ , que após a entrada em vigor do novo Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE) em 1/7/2008 [15], substituiu o isolamento sonoro normalizado,  $D_n$ . A diferença entre estes dois parâmetros está relacionada com o parâmetro de referência de cada um deles, que no  $D_n$  é a absorção sonora de referência ( $A_0$ ) cujo valor é  $10 m^2$  enquanto no  $D_{nT}$  é o tempo de reverberação de referência ( $T_0$ ) cujo valor é 0,5 s. a estes parâmetros correspondem as seguintes fórmulas:

$$D_n = D + 10 \cdot \log\left(\frac{A_0}{A}\right) = (L_1 - L_2') + 10 \cdot \log\left(\frac{A_0}{A}\right) = R' + 10 \cdot \log\left(\frac{A_0}{S}\right) \quad (3.11)$$

$$D_{nT} = D + 10 \cdot \log\left(\frac{T}{T_0}\right) = (L_1 - L_2') + 10 \cdot \log\left(\frac{T}{T_0}\right) = R' + 10 \cdot \log\left(\frac{0,16 \cdot V}{S \cdot T_0}\right) \quad (3.12)$$

Para proceder à medição destes parâmetros recorre-se a ensaios normalizados (normas NP EN ISO 140-3 e 4) onde é emitido um som rosa – som com igual intensidade em todas as bandas de frequência – de elevada intensidade, cerca de 100 dB, determinando-se nos locais emissor e receptor os níveis médios de pressão sonora por banda de frequência, corrigindo-os depois para o parâmetro de referência através das expressões:

$$D_n = L_{emissor} - L_{receptor} + 10 \cdot \log\left(\frac{10 \cdot T}{0,16 \cdot V}\right) \quad (3.13)$$

$$D_{nT} = L_{emissor} - L_{receptor} + 10 \cdot \log\left(\frac{T}{T_0}\right) \quad (3.14)$$

O valor do índice de isolamento sonoro a ruídos de condução aérea padronizado  $D_{nT,w}$ , que é usado como comparação com os valores regulamentares, é obtido a partir do ajuste dos vários valores de  $D_{nT}$  para cada banda de frequência de acordo com a EN ISO 717-1. Se a medição for feita em laboratório, em que não se consideram as transmissões marginais, esse parâmetro é denominado  $R_w$  uma vez que é obtido a partir dos valores de R para cada banda de frequência.

Para as paredes exteriores o parâmetro quantificador do isolamento sonoro a ruídos de condução aérea é o  $D_{2m,nT,w}$  (que substituiu o  $D_{2m,n,w}$  após entrada em vigor do novo regulamento RRAE em 2008 [15]). A determinação experimental deste parâmetro é idêntica à dos anteriormente referidos, com a particularidade do compartimento receptor ser sempre o interior do edifício, sendo a medição do nível de pressão sonora pelo exterior realizada a dois metros da fachada ( $L_{1,2m}$ ), obtendo-se assim as expressões:

$$D_{2m,n} = L_{1,2m} - L_2 - 10 \cdot \log\left(\frac{0,16 \cdot V_2}{10 \cdot T_2}\right) \quad (3.15)$$

$$D_{2m,nT} = L_{1,2m} - L_2 - 10 \cdot \log\left(\frac{T_0}{T_2}\right) \quad (3.16)$$

Após este cálculo, é efectuada o ajuste com a curva EN ISO 717-1 obtendo-se os parâmetros  $D_{2m,nT,w}$  ou  $D_{2m,n,w}$ . De salientar que, tal como as paredes interiores, a existência no compartimento receptor de

um tempo de reverberação pequeno, acompanhado pela elevada absorção sonora, tenderá a minimizar o ruído de fundo produzido pelos ruídos exteriores que penetram na sala através da sua envolvente.

Apesar do novo regulamento RRAE 2008 [15] já estar em vigor é importante a referência ao regulamento antigo (RRAE 2002) uma vez que qualquer projecto licenciado antes da entrada em vigor do novo regulamento deve respeitar apenas os valores regulamentares em vigor à data do seu licenciamento.

Numa vertente de projecto e mesmo de execução, apraz referir que a correcção de elementos heterogéneos com isolamentos acústicos deve obedecer a critérios bem definidos pois o isolamento sonoro global depende essencialmente do elemento com isolamento mais fraco. De referir a atenção de que devem ser alvo os possíveis pontos fracos que permitem a passagem do som piorando o comportamento global do elemento, como por exemplo a existência de pequenos espaços de ar (frinças) e as transmissões parasitas de que são exemplos as aberturas para ventilação, as caixas de estore ou os tectos falsos.

### 3.2.3.3. Ruídos de percussão

Os ruídos de percussão são provenientes da solicitação directa da fonte sobre os elementos construtivos, propagando-se por vibração da própria estrutura, o que provoca a propagação do ruído até locais bastante afastados da fonte, ao contrário do que acontece com os ruídos aéreos. Os ruídos de percussão são divididos em dois tipos em função da sua origem: os ruídos provenientes de fontes estáticas como sistemas de bombagem ou electrodomésticos e os ruídos provenientes de fontes de impacto como por exemplo o bater de portas, passos ou a queda de objectos.

A propagação dos ruídos de percussão faz-se por vibração do elemento construtivo, logo a forma mais eficaz de impedir essa propagação é através de dessolidarização das estruturas, cortando assim a continuidade dos elementos. Na prática, o isolamento destes ruídos passa, em traços gerais, pela separação dos componentes da estrutura e pelo uso de materiais resilientes no revestimento das superfícies.

Os métodos experimentais de medição do isolamento sonoro a ruídos de percussão pode ser feito, tal como os ruídos aéreos, em laboratório desprezando as transmissões marginais ou *in situ* com a presença do efeito dessas transmissões. Esta medição experimental não é feita pela medição dos níveis de pressão sonora nos compartimentos emissor e receptor uma vez que o ruído produzido no espaço emissor não tem uma relação significativa com o percebido no espaço receptor. Para isso recorre-se a ensaios de pavimento sob acção de uma percussão normalizada (NP EN 140-6 e 7). É utilizada uma máquina de impactos normalizada (figura 3.6), que é constituída por 5 martelos de 500 g cada que caem de uma altura de 4 cm, percutindo o solo à razão de 10 choques por segundo. Assim, devido à normalização desta percussão é possível obter apenas o ruído do piso inferior ( $L_i$ ) e daí apurar o índice de isolamento sonoro a ruídos de percussão normalizado  $L_{n,w}$  (se em laboratório) ou, se medido *in situ*, o índice de isolamento sonoro a ruídos de percussão padronizado  $L'_{nT,w}$  ou normalizado  $L'_{n,w}$  (consoante se use como referência para o compartimento receptor o tempo de reverberação  $T_0$ , em geral igual a 0,5 s ou a área de absorção sonora equivalente  $A_0$  igual a 10 m<sup>2</sup>. [12]

Para medições *in situ*:

$$L'_{nT} = L_i - 10 \cdot \log\left(\frac{T}{T_0}\right) \quad (3.17)$$

$$L'_n = L_i - 10 \cdot \log\left(\frac{A_0}{A}\right) = L_i - 10 \cdot \log\left(\frac{10 \cdot T}{0,16 \cdot V}\right) \quad (3.18)$$

Pode-se verificar que, tal como acontece para o isolamento a ruídos aéreos, o efeito da reverberação que ocorre no compartimento receptor é contabilizado e, mais uma vez, é também feito o ajuste à curva EN ISO 717-1 no sentido de determinar um parâmetro caracterizador do isolamento a ruídos de percussão independentemente da frequência do som.

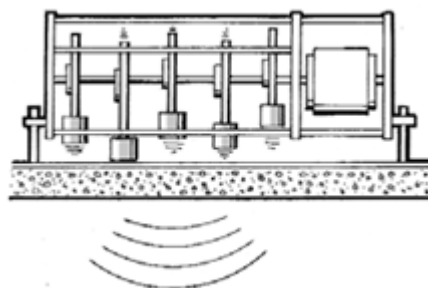


Figura 3.6 – Máquina de Impactos para medição do isolamento sonoro a ruídos de percussão [13].

#### 3.2.3.4. Ruídos de equipamentos e instalações

O nível sonoro produzido pela vibração dos objectos é tanto maior quanto maior for a área de colocada em movimento por esse objecto. Desta forma, quando um pequeno objecto está rigidamente ligado a uma estrutura provoca a vibração desta, e um consequente aumento do nível sonoro devido à maior facilidade com que a energia se transfere para sons aéreos. É devido a este facto que o ruído das canalizações embutidas nas paredes ou lajes é tão habitual. Assim, a solução para este problema passa por desligar as tubagens da parede (ou laje) na qual está embutida. Também com máquinas este fenómeno pode surgir pois uma pequena zona vibratória interna pode provocar a vibração de uma grande área da superfície da máquina. [12]

Vivemos rodeados deste tipo de ruídos, provenientes de instalações de águas e esgotos, instalações eléctricas, elevadores, sistemas de condicionamento termo-higrométrico do ar interior (vulgo, ar condicionados), portas automáticas de garagens, transformadores eléctricos, compactadores de lixo, etc. Em grande parte das situações o efeito negativo em termos acústicos destes equipamentos e instalações poderia ser evitado. Por um lado, em fase de projecto, através de um correcto dimensionamento e adequada organização dos compartimentos mais ruidosos, afastando-os e isolando-os dos locais mais sensíveis. Por outro lado, através da correcta execução, providenciando a dessolidarização entre as máquinas e as tubagens e entre as tubagens e as paredes, colocando apoios ou suspensores anti-vibráteis consoante estejam nas paredes e chão ou no tecto, e utilizando materiais e máquinas com boas características em termos acústicos.

O ruído dos equipamentos colectivos é limitado no RRAE [15] através de valores limite para o Nível de avaliação padronizado do ruído particular de equipamentos colectivos do edifício,  $L_{Ar,nT}$  (dB), obtido segundo a expressão:

$$L_{Ar,nT} = L_A + K - 10 \cdot \log\left(\frac{T}{T_0}\right) \quad (3.19)$$

sendo K uma correcção devida às características tonais do ruído e  $L_A$  o nível sonoro contínuo equivalente durante um intervalo de tempo especificado.

Com o intuito de avaliar a incomodidade provocada pelos equipamentos face ao ruído de fundo podem ser usadas as curvas de incomodidade. Estas são geralmente usadas para ruídos de fundo estáveis e contínuos, produzidos por equipamentos (em especial ar condicionados) e não ruídos de actividade produzidos pelos ocupantes de um local. Por norma estas curvas são usadas através da comparação



entre os valores pré-definidos das curvas e a sobreposição da curva gerada pela medição dos níveis de pressão sonora nos locais mais ruidosos da sala. Alguns exemplos de curvas de incomodidade são as curvas NC (*noise criterion*), NR (*noise rating*), RC (*room criterion*) e NBC (*balanced noise criterion*), entre outras raramente usadas ou que não vingaram. Das referidas são as curvas NC e NR as mais utilizadas.

As curvas NC – *Noise Criterion* – foram criadas nos Estados Unidos da América para classificar os ruídos interiores e ruídos dos sistemas de ar condicionado. O método consiste na apresentação de um conjunto de curvas definindo os níveis de pressão sonora em função de uma gama de frequências que se estende dos 63 Hz aos 8000 Hz (figura 3.7), sendo o cálculo feito pelo método da tangente. As curvas definem o limite que o espectro do nível de pressão sonora não pode exceder em função do tipo de uso do espaço de forma a fornecer boas condições aos utilizadores. A classificação NC é obtida através da marcação, sobre as curvas pré-definidas, do espectro de um ruído medido num determinado local. Após a marcação verifica-se qual o ponto em que o menor valor da curva NC não é excedido por nenhum valor do nível de pressão sonora do ruído medido, isto é, a primeira curva NC que excede todos os valores do ruído medido corresponde à classificação NC desse espaço. Para o caso concreto das bibliotecas a bibliografia da especialidade [16] recomenda que não se ultrapassem os valores do NC35 a NC40, o que corresponde a cerca de 45 a 50 dB(A).

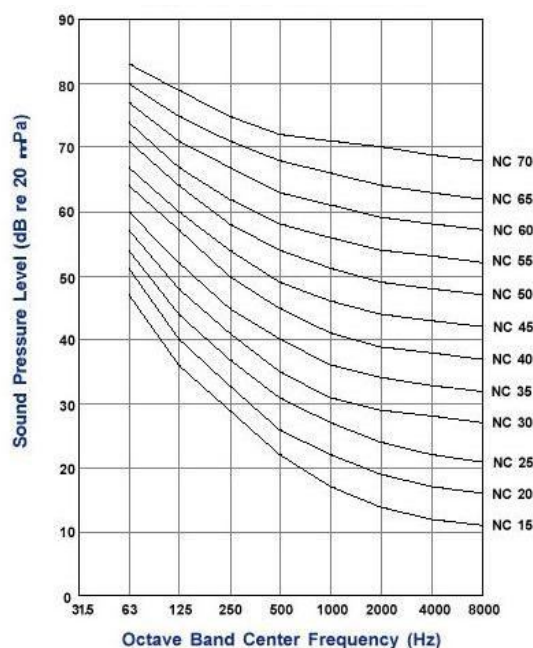


Figura 3.7 – Curvas NC – *Noise Criterion* [16].

As curvas NR – *Noise Rating* – foram institucionalizadas pelas normas ISO, sendo bastante usadas na Europa. Estas curvas apresentam metodologia e cálculo muito idênticos às curvas NC, sendo a diferença a gama de frequência, que abrange desde os 32 Hz aos 8000 Hz. O valor máximo deste parâmetro no caso das bibliotecas é de NR35 [17], sendo o nível sonoro máximo admitido cerca de 5 a 10 dB(A) superior ao valor da curva, situando-se assim entre os 35 e os 40 dB(A).

### 3.2.4. PALAVRA

#### 3.2.4.1. Introdução à palavra

O discurso, e numa componente mais elementar a palavra, é uma das características mais distintivas do ser humano, sendo um veículo da comunicação. A produção da palavra, a voz, é um processo algo complexo de coordenação de diversos órgãos do corpo humano, estando o seu estudo fora do âmbito deste trabalho. A palavra distingue-se como sendo um dos ruídos mais incomodativos para os utilizadores das bibliotecas interessando analisar as diferentes características deste som, assim como perceber a forma como a organização do espaço físico interior de uma sala influencia a percepção deste som. É ainda adequado conhecer os parâmetros de medição da percepção da palavra num compartimento.

#### 3.2.4.2. Inteligibilidade da palavra

A variabilidade da emissão da voz pode ser analisada sob quatro domínios: frequência, intensidade, duração e direccionalidade. Quanto à frequência de emissão das palavras, os sons utilizados abrangem uma vasta gama de frequências, sendo as vogais emitidas em baixas frequências enquanto as consoantes são emitidas predominantemente em altas frequências. No domínio da intensidade a diferença entre os níveis de pressão sonora entre vogais (som mais intenso) e consoantes (som menos intenso) é de cerca de 21 a 28 dB. Devido a este facto, associado à curta duração das consoantes (cerca de 20 ms) em comparação com a maior duração das vogais (aproximadamente 90 ms), verifica-se uma baixa inteligibilidade das palavras em compartimentos com elevado tempo de reverberação. Isto deve-se à sobreposição das vogais (mais intensas e com maior duração) sobre as consoantes (menor intensidade e mais curtas) precedentes (figura 3.8), que sendo responsáveis pela distinção das palavras ao não serem percebidas tornam essas palavras indistinguíveis de outras semelhantes. Relativamente à direccionalidade da emissão esta é feita preferencialmente na direcção frontal ao orador, havendo no entanto uma variabilidade direccional em função da frequência do som emitido (figura 3.9). As altas frequências ao apresentarem um baixo comprimento de onda encontram na cabeça do orador um obstáculo à sua propagação perdendo cerca de 25 dB para 180°. Por outro lado as baixas frequências têm características quase omnidireccionais uma vez que a cabeça do orador não se afigura como uma barreira à propagação de um som com grande comprimento de onda.

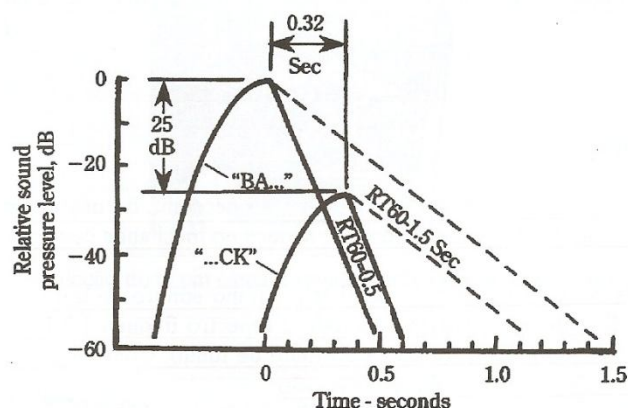


Figura 3.8 – Efeito da inteligibilidade de palavra *back* em dois cenários de tempo de reverberação (0,5 s e 1,5 s a tracejado) [12].

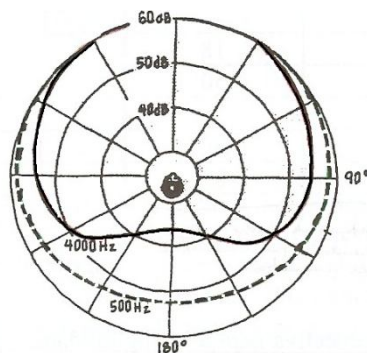


Figura 3.9 – Contornos da emissão da palavra no plano horizontal (frequências de 500 Hz e 4000 Hz) [12].

A inteligibilidade da palavra pode ser definida como a capacidade de compreender e interpretar com clareza os sons utilizados na linguagem. Esta capacidade é um factor crítico para qualquer espaço onde a comunicação através da palavra é a primeira função. A inteligibilidade não depende apenas do sistema sonoro instalado no espaço uma vez que pode até ser medida sem que este sistema exista. Esta medição é feita através de parâmetros objectivos ou subjectivos. Com todos os parâmetros objectivos, estes não necessitam da intervenção humana na sua determinação. Entre os mais utilizados distinguem-se o índice de articulação (AI), o nível de interferência na conversação (SIL), o *articulation class* (AC) e o *speech transmission index* (STI) que é geralmente utilizado através do seu método simplificado, o RASTI (*rapid speech transmission index*). Os parâmetros subjectivos baseiam-se na leitura de palavras ou frases a um grande número de auditores, que as escrevem e classificam o espaço. Uma das conclusões dos diversos estudos baseados nos parâmetros subjectivos é o facto de ser mais fácil entender as palavras quando estas estão integradas em frases do que quando são proferidas sozinhas, uma vez que numa frase se possui a pista das palavras anterior e posterior. Os métodos subjectivos usando oradores e ouvintes treinados e experientes são sem dúvida os mais correctos e fidedignos métodos de medir a inteligibilidade.

#### 3.2.4.3. Privacidade da Palavra

A privacidade da palavra é a capacidade de impedir que as conversas sejam compreendidas por outrem que não o destinatário dessas palavras, ou seja, é o oposto da inteligibilidade da palavra. No caso das bibliotecas a privacidade assume um significado diferente uma vez que, ao contrário do que é habitual, a não percepção das palavras é o objectivo pretendido por quem não é o destinatário das palavras, desejando assim a sua própria “privacidade de silêncio”. Apesar desta diferença a forma de tratamento do espaço é igual visto que o objectivo do utilizador da biblioteca é equivalente ao caso habitual de anseio de privacidade das conversas. No âmbito geral, os elementos que afectam a privacidade da palavra podem ser definidos em função do tipo de espaço: *open space* ou *enclosed room*.

#### 3.2.4.4. *Open space*

O caso mais comum de aplicação da tendência *open space* é os escritórios (figura 3.10). Um escritório *open space* é um espaço amplo que compreende diversos postos de trabalho, separados por divisórias baixas que oferecem separação visual e um certo grau de isolamento acústico. Estes espaços são normalmente caracterizados por terem uma dimensão (altura) muito inferior às outras duas (largura e comprimento). É neste contexto que o conceito *open space* abrange as bibliotecas. Caracterizando-se

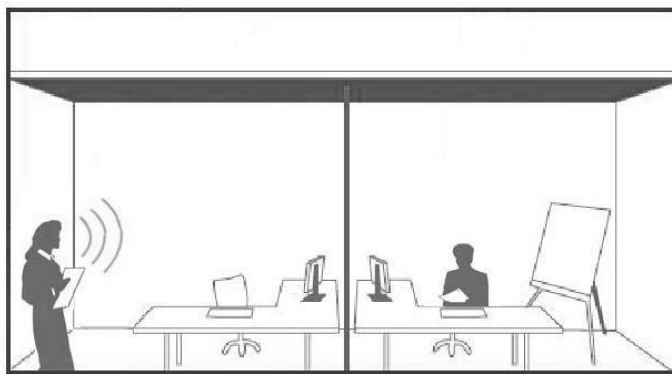
nas bibliotecas clássicas por ser um único espaço onde todas as secretárias e consequentemente os utilizadores se encontram, passando na actualidade a abranger os serviços de secretariado que se encontram no mesmo espaço, embora com organização espacial diferente, uma vez que as estantes entre as diversas mesas funcionam como barreiras de pequena altura, enquanto antes as estantes se encontravam nas paredes envolventes da sala. Apesar disto, uma vez que nas bibliotecas clássicas os serviços são separados das salas de leitura por partições altas (paredes) e portas, havia melhores condições acústicas. Os elementos fundamentais que afectam a privacidade da palavra entre locais contíguos em espaços do tipo *open space* são o nível sonoro de emissão da palavra, o grau de privacidade desejado, o nível sonoro do ruído de fundo, a altura das barreiras (ecrãs), a absorção sonora dos revestimentos do tecto e do piso e a distância entre emissor e receptor. Se cuidadosamente projectados estes espaços são capazes de fornecer um bom grau de privacidade.



Figura 3.10 – Escritório do estilo *open-space* [18].

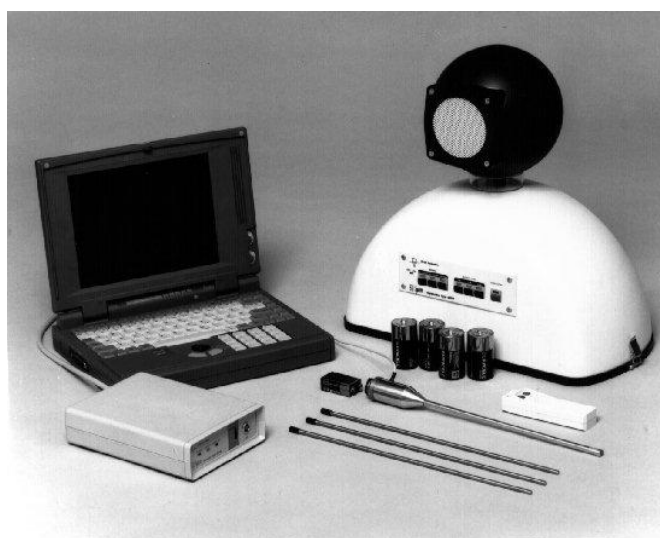
#### 3.2.4.5. *Enclosed room*

O conceito de *enclosed room* é o oposto do *open space*, estando definido como a forma tradicional de separação de dois espaços, através de uma divisória desde o chão até ao tecto, fornecendo um maior grau de isolamento sonoro (figura 3.11). Também este conceito é encontrado nas bibliotecas, fundamentalmente na separação de serviços das bibliotecas clássicas. Os elementos fundamentais que afectam a privacidade da palavra entre locais contíguos em espaços do tipo *enclosed room* são o nível sonoro de emissão da palavra, o grau de privacidade desejada, a absorção sonora do compartimento receptor, o isolamento sonoro entre locais e o nível sonoro do ruído de fundo. Apesar de oferecer um melhor comportamento acústico do que o *open space*, também as *enclosed rooms* necessitam de ser criteriosamente projectadas para cumprirem as condições de privacidade desejadas.

Figura 3.11 – *Enclosed room.*

#### 3.2.4.6. RASTI

Apesar dos métodos subjectivos serem mais fiáveis, devido à dificuldade de se realizarem foram surgindo métodos objectivos cada vez mais rigorosos e de fácil aplicação. Entre os mais usados está o RASTI ou *Rapid Speech Transmission Index*. O RASTI foi desenvolvido como uma alternativa simplificada do complexo STI (*Speech Transmission Index*), sendo a sua principal simplificação a medição em apenas duas bandas de frequência, a dos 500 Hz e a dos 2 kHz. Este método utiliza um sinal que produz uma excitação semelhante à provocada pelas palavras, que correlaciona as reduções de profundidade da modulação com a perda de inteligibilidade, fornecendo valores entre 0 (nula inteligibilidade / grau de privacidade confidencial) e 1 (ótima inteligibilidade / privacidade muito pobre ou nula). Sendo uma versão simplificada do STI comporta as consequências disso, não dando resultados tão fidedignos como este. A principal falha deste sistema surge relacionada com a pequena gama de frequências que assim pode desvirtuar os resultados uma vez que só é avaliado o comportamento do espaço perante estas frequências, subvalorizando uma grande gama de valores. Além deste facto, também parâmetros como a distorção do discurso, a não-linearidade da amplitude e a compressão podem resultar em resultados incorrectos. No entanto o sistema vingou por ter sido implementado num simples e portátil instrumento (figura 3.12) que fornece rápidas medições de inteligibilidade da palavra.

Figura 3.12 – Exemplo de aparelho de medição de RASTI da *Brüel & Kjaer* [19].

### **3.3. METODOLOGIA MULTI-CRITÉRIO**

#### **3.3.1. ABORDAGEM AO TEMA**

A metodologia multi-critério é, em simultâneo, uma aproximação e um conjunto de técnicas que foram desenvolvidas para ajudar as pessoas a fazer escolhas que são, de acordo com os seus valores, caracterizadas por múltiplos, incompatíveis e conflituosos critérios. O desafio mais encorajante é o facto de esta metodologia não estar restrita a uma determinada área, abrangendo não só todos os campos de investigação, mas também auxiliando todos os processos de tomada de decisões, do mais simples ao mais complexo. Resolver um problema de decisão é um processo que pressupõe uma certa duração, durante a qual a disponibilidade de novas informações tem a capacidade de fazer mudar as preferências [20].

A metodologia multi-critério é considerada uma sub-disciplina relativamente recente da Investigação Operacional, sendo-lhe atribuída a proeza do renascimento da investigação operacional através do regresso às suas características originais de aproximação à resolução de problemas baseada em formas de pensamento, multidisciplinaridade e conhecimento científico. A primazia desta metodologia é a ajuda ao decisor na estruturação dos problemas e na tomada de boas soluções. Este apoio multi-critério à decisão tem como objectivo dar ao decisor algumas ferramentas que o capacitem e auxiliem na tomada de decisão, onde muitos – por vezes contraditórios – pontos de vista devem ser tidos em conta. O primeiro ponto a reter é que, geralmente, não existe nenhuma decisão, acção ou solução que é simultaneamente boa para todos os pontos de vista. Num mundo de incertezas, o analista deve equilibrar os seus juízos incertos com as preferências do decisor, com o propósito de minimizar possíveis consequências ou retrocessos.

A evolução dos vários métodos da metodologia multi-critério ilustra na perfeição o porquê desta metodologia ser considerada uma ajuda ao processo de decisão e não a sua optimização. A agregação num único critério, que transformaria o problema multi-critério num problema de optimização, foi contestada e progressivamente substituída por métodos mais flexíveis e menos matematizados (ao que alguns poderão dizer menos rigorosos).

Desde os tempos dos nossos antepassados pré-humanos e dos primeiros humanos há vários milhões de anos atrás, as decisões tiveram que ser tomadas e envolveram múltiplos objectivos conflituosos. A evolução adaptou os nossos antepassados desenvolvendo capacidades que permitem, intuitivamente, tomar decisões com discernimento sobre as consequências dos nossos actos. Contudo, o mundo tornou-se mais complexo e está em constante mudança, alargou-se o conjunto de objectivos a serem optimizados e tornou-se mais difícil encontrar as soluções “óptimas”. Até a palavra “óptima” deve ser posta entre aspas, tal a crescente indefinição que se acercou do conceito de optimização.” [21] “Para resolver problemas complexos, até à primeira metade do século XX, utilizava-se basicamente a esperança matemática para a tomada de decisões em condições aleatórias; porém, em muitas situações, observava-se que o risco associado a tal procedimento era inaceitável. Com o fim da Segunda Guerra Mundial, em função da experiência obtida pelas Forças Aliadas sobre problemas logístico-militares, um grande número de organizações de pesquisa dedicou-se à análise e preparação de decisões, usando a então recente Investigação Operacional. Assim surgiu a necessidade imediata de optimizar custos, gastos e lucros. Com esse objectivo desenvolveram-se diversos métodos estritamente matemáticos para que se encontrasse a solução óptima de um problema. Esses métodos fazem parte da optimização clássica e muitos deles ainda são actualmente usados em diversas aplicações. A optimização matemática é caracterizada pela procura do valor máximo ou mínimo de uma única função objectivo, submetida a um conjunto de condições ou restrições que necessariamente, deve ser cumprido. Na década de 70 do século passado, começaram a surgir os primeiros métodos multi-critério de auxílio à

decisão, com o intuito de enfrentar situações específicas, nas quais um decisor, actuando com racionalidade, deveria resolver um problema em que vários eram os objectivos a serem alcançados de forma simultânea. [22]

### 3.3.2. CRITÉRIOS E PRINCÍPIOS BÁSICOS DA METODOLOGIA MULTI-CRITÉRIO

#### 3.3.2.1. Principais dificuldades da metodologia multi-critério

A principal dificuldade da metodologia multi-critério reside no facto de ser um problema matemático não-definido, isto é, não tem uma solução objectiva. Resolver um problema de decisão multi-critério não é a procura por uma “verdade escondida”, mas sim a ajuda ao decisor no domínio do problema e no avanço para a busca da solução. Desta maneira será possível obter uma “solução de compromisso”, realçando que esta depende fortemente da personalidade do decisor, das circunstâncias em que foi desenvolvido o processo de decisão, da forma como o problema é apresentado e no método utilizado. [20]

Apresentadas as principais dificuldades dos problemas multi-critério, apresentam-se de seguida os principais conceitos e princípios básicos da metodologia, antecedendo a apresentação do método a utilizar no presente trabalho.

#### 3.3.2.2. Processos de tomada de decisões

Uma metodologia multi-critério de apoio à decisão procura fazer com que o processo seja o mais neutro, objectivo, válido e transparente possível, sem pretender indicar ao decisor uma solução única e verdadeira.

A tomada de decisão relativamente a um problema é um processo em que, ao longo do tempo, é possível identificar no mínimo quatro etapas: a compilação da informação, o tratamento dos dados, a selecção e a revisão do processo.

O nível inicial consiste no reconhecimento das necessidades do decisor, isto é, detectar o problema a ser resolvido. De seguida é necessário definir e formular o problema, mediante a identificação dos eventuais grupos de interesse, bem como os objectivos e atributos utilizados no processo de decisão. Um outro nível engloba a elaboração de um modelo analítico do problema, cuja finalidade é construir uma representação, quase sempre matemática, a ser utilizada ao longo da análise do processo, na qual se estima a influência de cada um dos parâmetros no problema em questão. Por último efectua-se a análise propriamente dita. Analisam-se as alternativas em relação aos critérios de acordo com as condicionantes impostas. Em função da solução obtida pode ser necessária a reavaliação do processo, retornando-se aos níveis anteriores. Após isto, inicia-se a implementação da solução mais adequada. De referir que, apesar da forma sequencial como foram apresentadas as diversas etapas, estas não obedecem a uma ordem imutável, sendo esta, contudo, uma estruturação lógica e compreensível do problema.

#### 3.3.2.3. Conceitos básicos

Durante as tomadas de decisões surgem dois agentes que intervêm no processo, o decisor e o analista. O conceito de decisor apresenta-se como o indivíduo ou grupo de indivíduos que, directa ou indirectamente, define o juízo de valor final que poderá ser usado no momento de avaliar as alternativas disponíveis, com o objectivo de identificar a melhor escolha. Embora pareça uma

trivialidade, apresenta um sentido crucial pois a alternativa seleccionada dependerá, em última instância, da informação introduzida pelo decisor no processo. Por outras palavras, o decisor é uma pessoa que está perante uma tomada de decisão e que, simultaneamente, impõe as regras do jogo. O analista é a pessoa encarregada de modelar o problema e, eventualmente, fazer recomendações relativas à decisão final. Tal como o decisor, também a figura do analista pode representar uma pessoa ou uma equipa, desempenhando este um papel fundamentalmente objectivo, auscultando as opiniões do decisor, tratando-as da maneira mais objectiva possível e transferindo-as ao modelo para posterior utilização.

A maioria – se não todos – os problemas reais no contexto do planeamento são caracterizados por diversos fins ou objectivos, muitas vezes inconciliáveis. A tendência natural é englobar vários factores no planeamento. Estes factores podem ser de natureza qualitativa distinta, isto é, um problema pode-se apresentar com variáveis independentes, sem que no entanto se excluam mutuamente. Geralmente os objectivos podem ser de dois tipos. O primeiro corresponde a “chegar o mais próximo possível” de um estado, pré-determinado, desejável. O segundo é o conceito de maximização.

Independentemente dos objectivos considerados, cada um deles pode derivar de certos valores fundamentais. A palavra “valor” refere-se a um conceito mais nuclear, ou fundamental, do que “objectivo”. Uma forma de distinguir estes conceitos será considerar os valores como fins a alcançar e os objectivos como o meio para alcançar esses valores.

Outro termo primordial nesta análise é o *critério*. Os objectivos são caracterizados por *critérios* que medem o desempenho de uma determinada solução. Por exemplo, na escolha de uma casa, podemos caracterizar o objectivo “boa localização” considerando os critérios distância ao trabalho, comércio, infra-estruturas de lazer, desporto, culturais ou educacionais, ruído, etc. [23]. Claramente cada objectivo pode ser caracterizado por uma multiplicidade de *critérios*, tal como cada valor pode englobar múltiplos objectivos. Quando se acrescenta a um *critério* uma informação referente às preferências do decisor, de forma a proporcionar um conjunto de regras pelo qual é possível afirmar algo sobre as preferências entre um par de alternativas qualquer em relação ao *critério* em questão, diz-se que esse conjunto de regras representa um critério de decisão. Assim, de alguma maneira, um critério torna explícitas e operativas as preferências de um decisor quanto às alternativas para um determinado atributo.

Estreitamente relacionado com as noções de valor, objectivo e atributo está a preferência. Quando um decisor afirma que prefere A em detrimento de B está a sintetizar um conjunto de múltiplos valores, objectivos e critérios. Como se verá adiante, a preferência é um conceito fundamental, tendo mesmo uma tradução matemática.

Outro termo considerado importante é a noção de conflito, com particular ênfase no conflito intra-pessoal. Na maioria dos casos tem-se que aceitar resultados fracos em alguns critérios para obter bons resultados noutros e um bom resultado a nível geral. Pode-se dizer que o decisor entra em conflito intra-pessoal quando nenhuma das alternativas disponíveis é a melhor em todos os campos, isto é, quando não há uma alternativa caracterizada por ter valores óptimos em todos os critérios escolhidos para representar os objectivos.

Os *pesos*, que reflectem a importância relativa dos critérios para o decisor, são outro dos termos importantes. O *peso*, ou ponderação, representa uma medida de importância relativa dos critérios para o decisor.

Por último, o conjunto de escolhas ou conjunto de alternativas. O decisor depara-se com um conjunto de hipóteses para soluções do seu problema que é comumente conhecido como conjunto de



alternativas. Presume-se que as alternativas apresentadas sejam diferentes, exaustivas e não excludentes. A exaustividade das alternativas supõe que, se o decisor introduz uma nova alternativa ao conjunto de escolha, em princípio, deverá reformular o modelo com o novo conjunto de alternativas, isto é, parte-se do princípio de que todas as hipóteses são consideradas nas alternativas presentes, não havendo lugar a novas alternativas. Por outro lado, se as alternativas fossem excludentes implicaria não permitir a opção por uma solução mista, que tentasse reunir um maior número de critérios bem classificados.

#### 3.3.2.4. Natureza hierárquica dos critérios

Especificação equivale à subdivisão de um objectivo num nível inferior de objectivos com maior detalhe, clarificando dessa forma o significado previsto para o objectivo geral. Estes níveis inferiores de objectivos podem também ser vistos como “o meio para atingir o fim”, sendo o “fim” o objectivo superior. Assim, identificando um “fim” através de objectivos muito precisos (os meios), pode-se construir uma hierarquia até atingir os níveis superiores. [24] Subindo na hierarquia, haverá um ponto de paragem natural no objectivo totalmente inclusivo (aquele que inclui um ou mais níveis e que é caracterizado por abranger e representar os objectivos de níveis inferiores). Este objectivo é extremamente extenso e indica a razão pela qual interessa ao problema, contudo é demasiado vago num propósito operacional. Por outro lado, quando descemos na hierarquia, existe também um ponto óbvio de paragem de especificação dos objectivos. O senso comum deve ser usado para decidir a altura de paragem deste processo, considerando as vantagens e desvantagens da continuidade da especificação.

Durante a divisão de um objectivo em sub-objectivos, em qualquer nível, deve-se ter o cuidado de verificar se todas as facetas do objectivo superior são tidas em consideração pelos sub-objectivos. Contudo, deve-se evitar a proliferação da hierarquia tanto ao nível horizontal como ao nível vertical, evitando correr o risco de desenvolver sub-objectivos insignificantes que levem o decisor a desfocar-se do seu caminho, tornando-o incompreensível. Ellis (1970) introduziu o «teste de importância» para lidar com este problema. Antes de qualquer objectivo ser incluído na hierarquia, o decisor é questionado sobre o facto da exclusão deste factor poder alterar o rumo correcto da sua decisão. Uma resposta afirmativa implicará obviamente que o objectivo seja incluído. A resposta negativa é tida como a razão suficiente para a exclusão. Naturalmente, é de evitar a exclusão de um conjunto excessivo de objectivos, que embora tenham falhado o «teste de importância» sejam colectivamente importantes. À medida que a análise prossegue e o decisor se integra melhor no problema, pode surgir o interesse em reavaliar os objectivos excluídos. Se o decisor tem uma mudança em mente, então alguns objectivos e os respectivos atributos devem ser reintegrados no problema e repetidas certas partes da análise. [24]

#### 3.3.3. MÉTODO ADITIVO

##### 3.3.3.1. Introdução ao método

A metodologia multi-critério possui dois grandes ramos: o ramo contínuo e o ramo discreto. O ramo contínuo da decisão multi-critério, também conhecido por optimização vectorial, ocupa-se de problemas com objectivos múltiplos nos quais as alternativas podem adquirir um número infinito de valores. O ramo discreto analisa problemas nos quais o conjunto de alternativas é definido por um número finito. Dentro de ambos os ramos é possível fazer a distinção de duas formas de análise dos critérios: a forma determinística e a forma estatística. Na forma determinística são conhecidos os

valores exactos dos critérios enquanto na forma estatística estes são vistos como variáveis aleatórias, representando cada alternativa por uma distribuição probabilística.

Este trabalho enquadra-se no ramo discreto e determinístico, uma vez que será aplicado sobre alternativas conhecidas (amostra de bibliotecas públicas), sendo conhecidos os valores exactos dos critérios pois são avaliados parâmetros acústicos já medidos.

O Método Aditivo é um método da metodologia multi-critério que se enquadra no ramo discreto e determinístico. É caracterizado pela facilidade de adaptação a diversos tipos de problemas, consistindo na valorização dos diversos critérios por pesos diferentes, reflectindo as preferências do decisor. Este método é, na sua forma mais simples, representado por:

$$v(a) = \sum_{j=1}^n w_j (v_j(a)) \quad (3.20)$$

onde a função  $v$  representa a transformação dos valores dos critérios convertendo-os à mesma escala, o que evita problemas de unidades e assegura que o somatório faz sentido.

### 3.3.3.2. Colocação do problema

Seja  $a$  uma alternativa viável e  $A$  o conjunto de todas as alternativas viáveis. A cada alternativa  $a$  de  $A$  são associados  $n$  índices de valor  $X_1(a), \dots, X_n(a)$ , onde  $X_1, \dots, X_n$  correspondem aos  $n$  critérios considerados na avaliação. Os  $n$  índices avaliadores relacionam a alternativa  $a$  de  $A$  com um ponto no espaço de consequências  $n$ -dimensional  $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$  (figura 3.13). [22]

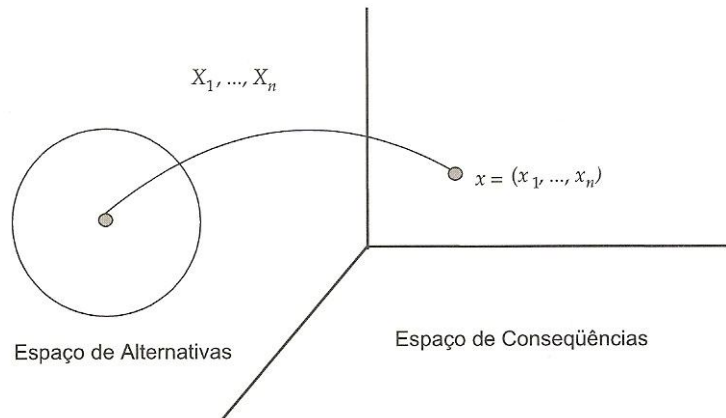


Figura 3.13 – Correspondência entre alternativas e espaço de consequências [22].

Por outras palavras,  $(x_1, x_2, \dots, x_n)$  é a imagem da alternativa. Assim, o problema do decisor consiste em escolher a alternativa que melhor o satisfaça tendo em conta os valores de  $X_1(a), \dots, X_n(a)$ . Dessa forma, é necessário obter uma função que relacione  $X_1(a), \dots, X_n(a)$  com um índice escalar que represente a desejabilidade do decisor. Portanto, deve ser definida uma função de valor escalar  $v$  sobre o espaço de consequências, de tal forma que uma das alternativas obtenha maior ou, pelo menos, igual valor que as restantes:

$$v(x_1, x_2, \dots, x_n) \geq v(x_1', x_2', \dots, x_n') \quad (3.21)$$

sendo o principal problema a estruturação e quantificação desta função de valor.

### 3.3.3.3. Considerações teóricas

A compreensão e análise das alternativas segundo este método pressupõe o conhecimento de alguns conceitos teóricos. A *dominância* é o termo chave da decodificação dos problemas através do método aditivo, complementada pelas noções de fronteira eficiente e por alguns axiomas.

#### a) Dominância

Supondo que as alternativas  $a$  e  $b$  têm como consequências:

$$x' = (x'_1, \dots, x'_i, \dots, x'_n) \text{ e } x'' = (x''_1, \dots, x''_i, \dots, x''_n),$$

onde  $X_i(a) \equiv x'_i$  e  $X_i(b) \equiv x''_i$ , para  $i = 1, \dots, n$ .

Além disso, assumindo que a preferência seja incrementada em cada  $X_i$ , então pode afirmar-se que  $x'$  *domina*  $x''$  se:

$$(a) \ x'_i \geq x''_i \quad \forall i, \text{ e} \quad (3.22)$$

$$(b) \ x'_i > x''_i \quad \text{para algum } i. \quad (3.23)$$

Se  $x'$  *domina* a  $x''$ , então a alternativa  $b$  não é rival da alternativa  $a$  para ser a melhor, visto que  $a$  é pelo menos tão boa quanto  $b$  para cada critério (dado por 3.22), e estritamente melhor que  $b$  para, pelo menos, um critério de avaliação (dado por 3.23)

#### b) Axiomas

Neste tipo de análise realizam-se várias hipóteses quanto às preferências do decisor. Essas hipóteses são os axiomas do método, os quais constituem um conjunto de postulados considerado razoável. Caso o decisor aceite tais axiomas e os cumpra, então aceitará as ordenações de preferência indicadas pelo método. São três os axiomas deste método, que se apresentam de seguida, e estão directamente relacionados com as noções de dominância, ou preferência, e com as relações binárias.

- Duas alternativas quaisquer,  $a$  e  $b$ , podem ser comparadas pelo decisor, no sentido de uma, e somente uma destas afirmações, ser verdadeira:

(a)  $a$  é preferível a  $b$ ,  $aPb$ ;

(b)  $b$  é preferível a  $a$ ,  $bPa$ ;

(c)  $a$  é indiferente a  $b$ ,  $aIb$ .

- Se  $a$  é preferível a  $b$  e  $b$  é preferível a  $c$ , então  $a$  deve ser preferível a  $c$  (transitividade da preferência).
- Se  $a$  é indiferente a  $b$  e  $b$  é indiferente a  $c$ , então  $a$  deve ser indiferente a  $c$  (transitividade da indiferença).

#### c) Fronteira Eficiente

Para qualquer alternativa  $a \in A$  existe associada uma consequência  $x$  no espaço de consequências, em que  $x_i \equiv X_i(a)$ , qualquer que seja  $i$ . Seja  $R$  o conjunto de consequências no espaço  $n$ -dimensional que está associado às consequências de  $A$ ; o conjunto  $R$  é também chamado de imagem do vector  $X$  dos critérios  $X_1, \dots, X_n$  definidos no domínio de  $A$ . A figura 3.14 mostra um exemplo do conjunto  $R$  para  $n=2$ .

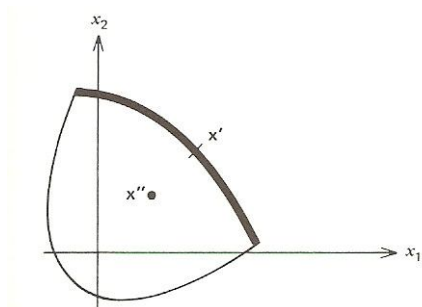


Figura 3.14 – Fronteira eficiente para um espaço de consequências com dois critérios [24].

O conjunto de consequências de  $R$  que não são dominadas é a fronteira eficiente de  $R$ . Segundo a figura 3.14, a escolha de  $x''$  é excluída porque se apresenta uma outra consequência  $x'$  na fronteira eficiente que domina  $x''$ . Será o conjunto de alternativas que têm como imagem as consequências da fronteira eficiente, que o decisor terá vantagem em analisar, optando pela que melhor responde às suas preferências.

#### 3.3.3.4. Função de valor aditiva

Uma função  $v$  que associa um número real  $v(x)$  para cada  $x$  no espaço de avaliação é denominada função de valor, caso represente a estrutura de preferência do decisor, de modo que:

$$x' \sim x'' \Leftrightarrow v(x') = v(x'') \quad e$$

$$x' > x'' \Leftrightarrow v(x') > v(x'')$$

onde  $\sim$  significa «indiferente a». Alguns exemplos de funções de valor para  $n=2$  são:

$$v(x) = c_1 x_1 + c_2 x_2 \quad \text{onde } c_1, c_2 > 0 \quad (3.24)$$

$$v(x) = x_1^\alpha x_2^\beta \quad \text{onde } \alpha, \beta > 0 \quad (3.25)$$

A função de valor linear aditiva avalia os desempenhos das alternativas conforme os múltiplos critérios, da seguinte forma:

$$v(a) = \sum_{j=1}^n w_j (v_j(a)) \quad (3.26)$$

Nessa expressão,  $v_j(a)$  representa o desempenho da alternativa  $a$  segundo o  $j$ -ésimo critério e  $w_j$  (com  $w_j \geq 0$ ) representa um coeficiente de ponderação, ou peso relativo, do  $j$ -ésimo critério. Os pesos permitem transformar unidades de valor parcial em unidades de valor global, por exemplo se  $w_j=0$ , cada unidade de valor parcial do critério  $j$  valerá 0,20 unidades do valor global. Os pesos operacionalizam a noção de compensação [25].

Este procedimento permite não só ordenar as propostas em termos da sua atractividade global, com também apreciar diferenças relativas da atractividade global, isto é, permite ter a noção de quanto uma alternativa é melhor que outra. A determinação dos pesos deve ser feita com referência às escalas de impactos dos critérios. Caso contrário os pesos serão arbitrados directamente por referência à noção psicológica e intuitiva de importância.

Infelizmente existe, mais ou menos popularizada, toda uma panóplia de processos de ponderação directa que ignora estas considerações, sendo por isso teoricamente incorrectos, sendo habitualmente referidos como o *most common critical mistake*. É por esta razão que os procedimentos de ponderação correctos baseiam o cálculo dos pesos nas respostas dos avaliadores, a questões que requerem da parte

destes alternativas de referência, tradicionalmente definidas com base nos melhores e piores níveis de impacto das alternativas dos critérios. [25]

#### 3.3.3.5. Metodologia

Apresentam-se neste ponto as principais etapas do desenvolvimento e do uso de uma função de valor multi-critério. Apesar desta ser apresentada na ordem mais lógica e frequentemente utilizada, este processo é, na prática, iterativo, pelo que não é obrigatório obedecer rigidamente a este formato.

**Etapla 1) Identificação do(s) decisor(es):** é, por vezes, uma etapa que não é tida em consideração pois pressupõe-se que o problema surge do próprio decisor. É importante nos problemas mais complexos.

**Etapla 2) Definição das alternativas:** em alguns casos é fácil identificar as alternativas visto que são o motivo do surgimento do problema de decisão; noutros casos, é necessário definir as alternativas ou mesmo diminuir o número de alternativas para uma lista menor, mais simples de administrar.

**Etapla 3) Definição dos objectivos:** tal como as alternativas, muitas vezes os objectivos são responsáveis pela ocorrência do problema de decisão. Quando isto não se verifica, a identificação dos objectivos a atingir não gera grandes dificuldades pois surge da reflexão do decisor.

**Etapla 4) Definição dos critérios:** a definição dos critérios será provavelmente um processo iterativo. O processo de definição dos critérios pode ser feito recorrendo a inúmeras técnicas, sendo a hierarquização o processo mais utilizado para problemas complexos. Um conjunto de critérios deve satisfazer algumas propriedades que são descritas de seguida. É importante num problema de decisão que o conjunto de critérios seja: completo – cobrindo assim todos os aspectos importantes do problema; operacional – para que possa ser correctamente usado na análise; decomponível – para que todos os aspectos de evolução do processo possam ser simplificados através da sua divisão por partes; não redundante – para que não haja dupla contabilização dos impactos dos critérios; e minimizador – a dimensão do problema deve ser mantida a mais pequena possível.

**Etapla 5) Definição da escala de valor dos critérios:** esta parte do processo é, geralmente, designada por *scoring*, existindo várias maneiras de executar. Trata-se da atribuição de uma escala de valores que irá quantificar cada alternativa em função do seu desempenho para esse critério. A escala de valor pode assumir diversas formas, desde uma função linear a uma função polinomial, podendo até ser usada uma escala subjectiva, desde que represente as preferências do decisor relativamente ao critério em questão.

**Etapla 6) Definição da importância relativa dos critérios:** nesta fase do processo de decisão atribuem-se os pesos relativos aos critérios, demonstrando a importância que estes têm para o decisor no âmbito global da solução para o problema.

**Etapla 7) Determinação da avaliação global de cada alternativa:** utilizando uma função de valor multi-critério, neste caso representada por uma função de valor linear aditiva (expressão 3.24), e obrigatoriamente após a definição de todos os parâmetros da fórmula, determina-se o valor ou pontuação global de cada alternativa. A pontuação global representa o nível alcançado pela alternativa em função da capacidade de satisfazer as exigências, e preferências, do decisor.

**Etapla 8) Análise de Sensibilidade:** esta fase é muito importante, especialmente nos pesos dos critérios, a fim de perceber a resistência dos valores das alternativas a possíveis mudanças nas preferências do decisor.

**Etapa 9) Escolha da alternativa com melhor pontuação:** por último, a alternativa a implementar será a que obter maior pontuação de acordo com a função  $v$  (3.26).

### 3.3.3.6. Exemplo

O problema seguinte servirá como exemplo para explicar a análise de decisão multi-critério utilizando o método aditivo. Para isso utiliza-se o exemplo em que um engenheiro civil analisa cinco propostas de trabalho, sendo cada uma delas avaliada segundo diversos critérios: função a desempenhar, capacidade de progressão na carreira, local de trabalho, salário, férias, condições de trabalho e ambiente de trabalho. O objectivo do engenheiro é escolher a melhor opção tendo em conta os critérios que estabeleceu como razoáveis.

O engenheiro opta por agrupar alguns critérios de forma a facilitar a definição da importância relativa, obtendo a árvore de critérios exposta na figura 3.15:

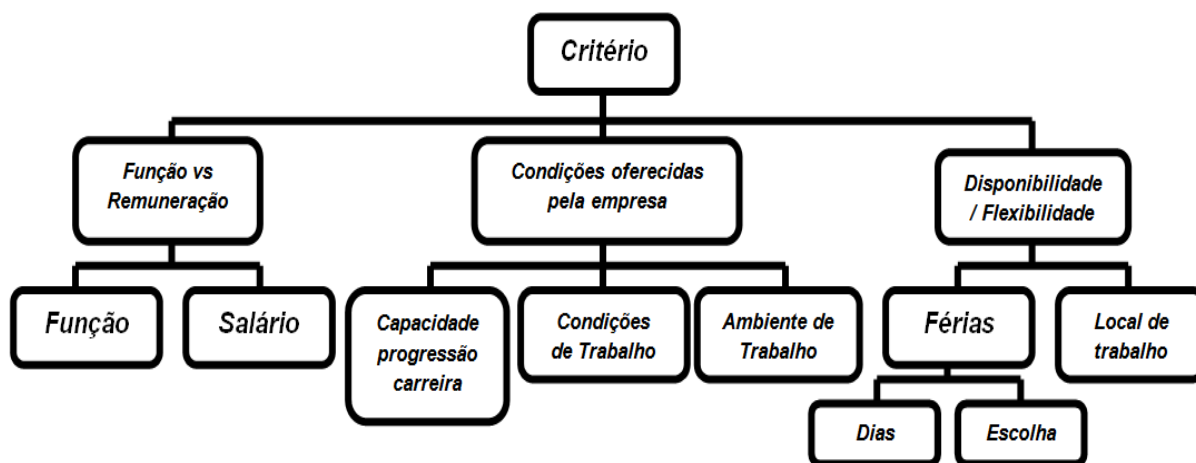


Figura 3.15 – Árvore de critérios.

Esta divisão permite ver o problema de três formas diferentes, podendo haver uma comparação das propostas dentro de cada um dos três conjuntos. De salientar a subdivisão do critério *férias*, que desta forma apresenta um novo nível da hierarquia.

O engenheiro procede em seguida à definição da importância relativa, ou pesos, dos critérios. O engenheiro considera o grupo de critérios *Função vs Remuneração* muito importante, pelo que opta por dar o mesmo peso a este grupo e aos dois restantes. Entre os dois restantes grupos considera que ambos têm para si uma importância semelhante, decidindo assim distribuir o peso igualmente pelos dois grupos. Ou seja, o conjunto *Função vs Remuneração* tem um peso de 0,50, o grupo de critérios *Condições oferecidas pela empresa* tem um peso de 0,25 e o grupo de critérios intitulado *Disponibilidade / Flexibilidade* tem também um peso de 0,25. Dentro do conjunto *Função vs Remuneração*, ambos os critérios têm a mesma importância, logo os seus pesos são de 0,25. Dentro de cada conjunto de critérios a distribuição de pesos decidida pelo engenheiro resultou nos seguintes valores para os critérios: *Função* e *Salário* têm cada um um peso de 0,25; a *Capacidade de progressão na carreira* e as *Condições de trabalho* têm cada um um peso de 0,10 enquanto o *Ambiente de trabalho* tem 0,05; o *Local* tem um peso de 0,10 enquanto os 0,15 das *Férias* se dividem igualmente pelos subcritérios *Dias* e *Escolha*.

Antes mesmo de observar ou tentar comparar as propostas o engenheiro definiu as funções de valor de cada um dos critérios em função das suas preferências, deixando para uma fase posterior um possível ajuste das funções de valor em função dos valores das alternativas. Os quadros 3.1 e 3.2 representam a função de valor, respectivamente, dos critérios *função* e *salário*. Os critérios *capacidade de progressão na carreira*, *condições de trabalho* e *ambiente de trabalho* são representados, respectivamente, pelos quadros 3.3, 3.4 e 3.5, e têm a particularidade de ser definidos por valores subjectivos. O critério *férias* divide-se no subcritério *dias*, representado no quadro 3.6, e no subcritério *escolha* representado pela figura 3.16. O *local de trabalho* tem a sua função de valor representada pela figura 3.17.

Quadro 3.1 – Função de valor do critério *Função*.

Função	Pontuação
Director de Obra	20
Projectista	15
Medidor / Orçamentista	10
Outra de nível inferior	0

Quadro 3.2 – Função de valor do critério *Salário*.

Salário Mensal Bruto (€)	Pontuação
>5000	20
5000	19
]5000; 4000]	18
]4000; 3500]	16
]3500; 3000]	14
]3000; 2500]	12
]2500; 2000]	10
]2000; 1500]	8
]1500; 1000]	6
<1000	0

Quadro 3.3 – Função de valor do critério *Capacidade de Progressão na Carreira*.

Capacidade de Progressão na Carreira	Pontuação
Fácil	18
Média	15
Difícil	8
Nula	0

Quadro 3.4 – Função de valor do critério *Condições de Trabalho*.

Condições de Trabalho	Pontuação
Óptimas	20
Boas	15
Satisfatórias	10
Más	0

Quadro 3.5 – Função de valor do critério *Ambiente de Trabalho*.

Ambiente de Trabalho	Pontuação
Muito Bom	20
Bom	15
Satisfatório	10
Mau	0

Quadro 3.6 – Função de valor do subcritério *Dias de Férias*.

Dias	Pontuação
> 25	20
[25 ; 23]	15
[22 ; 21]	10
[20 ; 16]	5
≤ 15	0



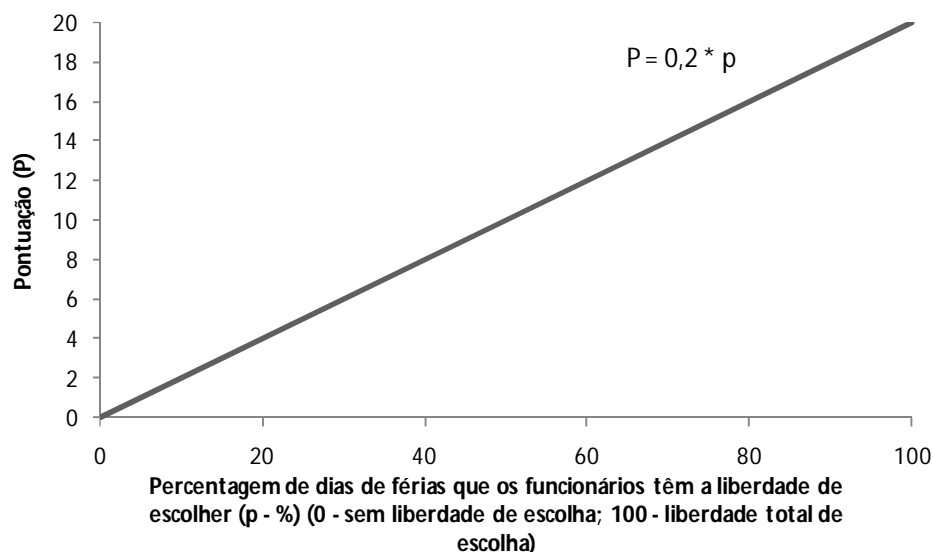


Figura 3.16 – Função de valor do subcritério *Escolha das Férias*.

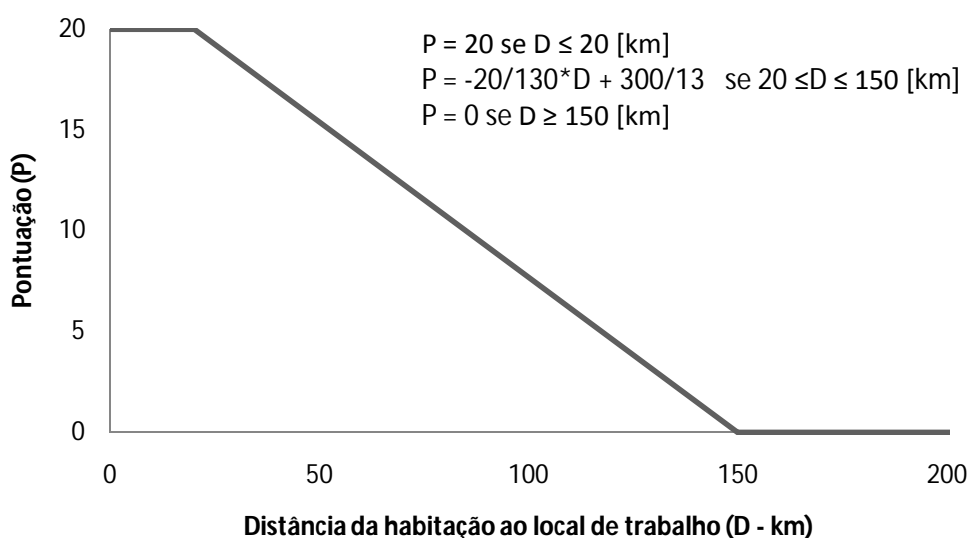


Figura 3.17 – Função de Valor do critério *Local de Trabalho*.

O conjunto de alternativas de trabalho apresentadas ao engenheiro foi o seguinte:

- Alternativa A: apresenta como função a direcção de uma obra, a 45 km da sua habitação; oferecem 3000 € de salário mensal e 30 dias de férias, sendo metade à escolha do funcionário; a empresa apresenta boas condições de trabalho, bom ambiente de trabalho e média capacidade de progressão na carreira.
- Alternativa B: apresenta como função medidor / orçamentista, na sede da empresa a 25 km da sua habitação; o salário mensal será de 3500 €, tendo 28 dias de férias à escolha do funcionário; a empresa apresenta óptimas condições de trabalho, ambiente de trabalho satisfatório e difícil capacidade de progressão na carreira.

- Alternativa C: apresenta como função projectista, na sede da empresa a 50 km da sua habitação; oferecem 2500 € de salário mensal e 32 dias de férias à escolha do funcionário; a empresa apresenta boas condições de trabalho, bom ambiente de trabalho e fácil capacidade de progressão na carreira.
- Alternativa D: apresenta como função a direcção de uma obra a 75 km da sua habitação; o salário mensal é de 4000 € tendo 30 dias de férias sendo metade à escolha do funcionário; a empresa apresenta condições e ambiente de trabalho satisfatórios e difícil capacidade de progressão na carreira.
- Alternativa E: apresenta como função projectista, na sede da empresa a 50 km da sua habitação; oferecem 2000 € de salário mensal e 35 dias de férias que são definidos pela entidade patronal; tem óptimas condições de trabalho, capacidade de progressão na carreira nula e bom ambiente de trabalho.

Conjugando os dados das alternativas com os critérios e as respectivas funções de valor o Engenheiro obteve as pontuações globais de cada alternativa, conforme o Quadro 3.7:

Quadro 3.7 – Pontuações globais das alternativas.

Critérios	Pesos ( $w_i$ )	Alternativas				
		A	B	C	D	E
<i>Função</i>	0,25	20	10	15	20	15
<i>Salário</i>	0,25	14	16	12	18	10
<i>Capacidade de Progressão na Carreira</i>	0,10	15	8	18	8	0
<i>Condições de Trabalho</i>	0,10	15	20	15	10	20
<i>Ambiente de Trabalho</i>	0,05	15	10	15	10	15
<i>Local</i>	0,10	16,2	19,2	15,4	11,5	15,4
<i>Dias de Férias</i>	0,075	20	20	20	20	20
<i>Escolha das Férias</i>	0,075	10	20	20	10	0
$v(a_i)$	-	16,1	14,7	15,3	15,2	12

Pela análise do quadro 3.7 constata-se que a melhor alternativa, segundo as exigências do engenheiro, é a alternativa A. A alternativa E é a pior, encontrando-se as alternativas B, C e D num nível intermédio. Analisando os resultados das alternativas para cada critério verifica-se que apesar de quase todas as alternativas terem igual número de pontuações máximas, a alternativa A, devido às boas cotações nos critérios com maior importância relativa e à constância de boas pontuações nos restantes, revela uma pontuação global ligeiramente superior às restantes. Todavia, é de notar a igualdade das pontuações atribuídas a todas as alternativas para o subcritério *Dias de Férias*. A atribuição da pontuação máxima a todas as alternativas, apesar dos diferentes valores para o subcritério, indica um possível desfasamento da função de valor em relação aos valores. Assim, o engenheiro decide adaptar

a função de valor deste subcritério aos valores das alternativas, obtendo a função de valor representada na figura 3.18, obtendo as novas pontuações globais presentes no quadro 3.8.

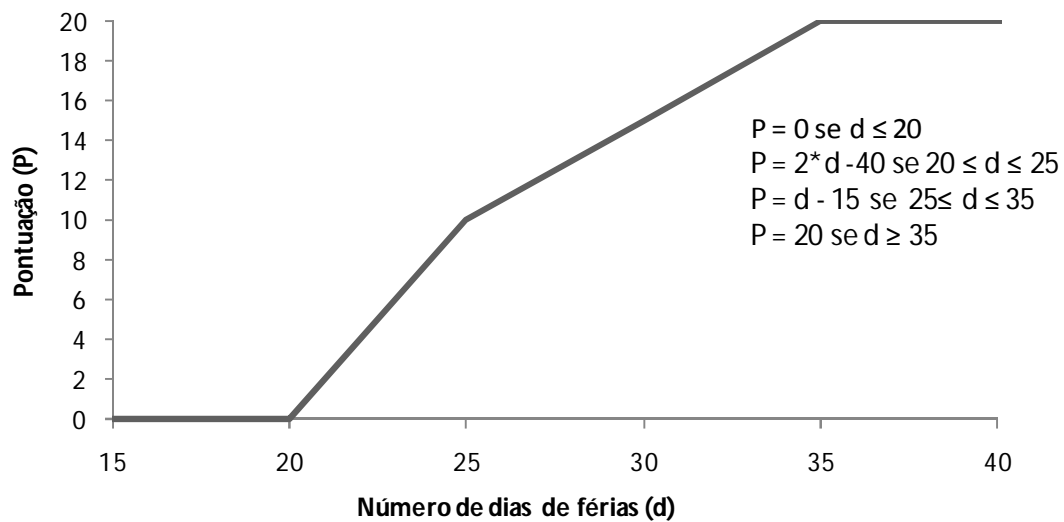


Figura 3.18 – Nova Função de Valor do subcritério *Dias de Férias*.

Quadro 3.8 – Novas pontuações globais das alternativas.

Critérios	Pesos ( $w_j$ )	Alternativas				
		A	B	C	D	E
<i>Função</i>	0,25	20	10	15	20	15
<i>Salário</i>	0,25	14	16	12	18	10
<i>Capacidade de Progressão na Carreira</i>	0,10	15	8	18	8	0
<i>Condições de Trabalho</i>	0,10	15	20	15	10	20
<i>Ambiente de Trabalho</i>	0,05	15	10	15	10	15
<i>Local</i>	0,10	16,2	19,2	15,4	11,5	15,4
<i>Dias de Férias</i>	0,075	15	13	17	15	20
<i>Escolha das Férias</i>	0,075	10	20	20	10	0
$v(a_i)$	-	15,7	14,2	15,1	14,8	12

Apesar da pontuação da alternativa A ter diminuído continua a ser a melhor das cinco alternativas, justificando-se assim a opção do Engenheiro por esta alternativa, pois é a que melhor se adequa às suas preferências.



# 4

## METODOLOGIA MULTI-CRITÉRIO EM ACÚSTICA DE BIBLIOTECAS

### 4.1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo pretende-se determinar o algoritmo que quantifique a qualidade acústica de uma biblioteca através da aplicação do método aditivo da metodologia multi-critério.

Procede-se à definição dos critérios, da sua importância relativa e das respectivas escalas de valor. O algoritmo multi-critério desenvolvido neste trabalho baseia-se na avaliação de cada biblioteca através de parâmetros acústicos objectivos. No entanto, estes são parâmetros algo abstractos que não traduzem directamente a percepção do auditor. O comportamento acústico da biblioteca seria mais adequadamente traduzido por parâmetros acústicos subjectivos, no entanto visto que nenhum trabalho foi desenvolvido nesta área, tenta-se colmatar esta lacuna com a elaboração de um questionário que tem como principal objectivo o auxílio à definição dos critérios a considerar e da respectiva importância relativa. A definição das escalas de valor dos critérios fica dependente de uma análise subjectiva, baseada no Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios [15]. Assim, para além da definição das escalas de valor, procede-se neste capítulo à apresentação do questionário, bem como à explanação do tratamento dos dados e justificação das conclusões obtidas.

### 4.2. REQUISITOS PARA UM COMPORTAMENTO ACÚSTICO ADEQUADO

É primordial que as bibliotecas ofereçam adequadas condições acústicas aos seus utilizadores, visto que para além de serem vistas como “o local onde estão os livros”, estão também rotuladas como um local silencioso, pelo que esta característica deve ser privilegiada por ser “exigida” pelos utilizadores.

De uma forma simplista pode-se dizer que, em termos acústicos, a biblioteca tem que estar isolada do mundo exterior e impedir a propagação e manutenção do ruído no seu interior. A biblioteca deve ter um bom nível de isolamento sonoro a ruídos exteriores por razões óbvias, uma vez que este ruído se iria somar ao ruído produzido no interior degradando as condições acústicas. A manutenção do ruído no interior de uma biblioteca está relacionada com a reverberação. Será adequado que uma biblioteca tenha um tempo de reverberação reduzido proporcionando condições para que a duração dos ruídos seja pequena. A par disto, a percepção das conversas deve ser mínima uma vez que é um factor de desestabilização do estado de concentração. Este objectivo é muitas vezes dificultado pela geometria das bibliotecas, que são caracterizadas por terem pés-direitos altos e volumes elevados, podendo este efeito negativo ser contrariado através de absorção sonora. A propagação do som tem também um

papel fundamental, visto que o som produzido num espaço não deve ter condições favoráveis à sua propagação dentro desse espaço e para espaços contíguos.

Estas características são essenciais para a avaliação do comportamento acústico das bibliotecas, daí que sejam traduzidas por diversos parâmetros no método aqui exposto.

### **4.3. QUESTIONÁRIOS – DEFINIÇÃO, APRESENTAÇÃO, ANÁLISE E CONCLUSÕES**

#### **4.3.1. DEFINIÇÃO DO QUESTIONÁRIO**

A decisão de elaborar um questionário está relacionada com a inexistência de um estudo sobre parâmetros acústicos subjectivos em bibliotecas. Assim, embora reconhecidamente de uma forma não totalmente exaustiva e fidedigna, pretende-se fazer a validação do método através das conclusões retiradas das respostas aos questionários, sendo igualmente utilizado como base para a elaboração do algoritmo.

A elaboração do questionário foi realizada de acordo com a norma NP 4476 de 2008, designada por “Acústica. Avaliação da incomodidade devida ao ruído por meio de inquéritos sociais e sócio-acústicos” [26]. Segundo este documento, quando as especificações por este definidas “são cumpridas, as possibilidades de obter, por comparação e amostragem dos resultados dos inquéritos, valores estatisticamente relevantes serão aumentadas, possibilitando, assim, mais e melhor informação de qualidade” [26] que, neste caso, permitirá validar o algoritmo proposto.

Esta norma portuguesa fornece os critérios adequados à realização dos inquéritos que incluam questões sobre o efeito do ruído, através da explicação e exemplificação do tipo de questões a ser colocadas e escalas de resposta, indicando também os aspectos chave na condução de inquéritos e na produção do relatório dos resultados. Apesar da norma explicitar a exclusão de ambientes de trabalho nos campos de aplicação e do inquérito ter sido colocado aos funcionários das bibliotecas, considera-se passível a sua utilização uma vez que apenas foram utilizados os conceitos gerais de elaboração dos questionários, não tendo sido utilizadas as perguntas tipo definidas pela norma e também devido à inexistência de qualquer outra norma sobre realização de inquéritos sócio-acústicos.

O inquérito elaborado tem cinco perguntas, sendo apenas uma delas directamente relacionada com o propósito para o qual foi feito o inquérito. A opção por uma única questão teve como objectivo a simplificação do inquérito e a concentração do inquirido nessa mesma questão, enquanto as restantes questões têm um carácter geral. A questão salientada anteriormente é a número 3, que permite quantificar a incomodidade dos vários tipos de ruído presentes nas bibliotecas. Esta questão permite igualmente definir a importância relativa dos ruídos para os utilizadores das bibliotecas e possibilita dessa forma a identificação dos campos de actuação para melhoria das condições acústicas. A escolha dos ruídos a colocar como opção de resposta desta questão procura englobar todos os tipos de ruído que se prevê existir nas bibliotecas. A pergunta 4 surge como um complemento da pergunta 3, procurando identificar fontes de ruído importantes que não foram especificadas nessa pergunta. As restantes questões têm como objectivo a qualificação da importância da acústica para o quotidiano dos utilizadores das bibliotecas.

Devido ao curto espaço de tempo disponível para a realização e tratamento do inquérito, que impossibilita a realização de entrevistas pessoais, optou-se pelo envio deste por correio electrónico para todas as bibliotecas pertencentes à Rede Nacional de Bibliotecas Públicas e para algumas faculdades, requerendo o preenchimento dos questionários por parte dos funcionários. A escolha dos funcionários como únicos inquiridos deve-se ao facto de estes serem os mais assíduos utilizadores das

bibliotecas. Assim, estando habituados a uma atmosfera de maior silêncio, tendem a identificar ruídos que para o utilizador comum passam, habitualmente, despercebidos.

Assim, o questionário elaborado teve as seguintes questões e respectivas alternativas de resposta:

- 1) Considera o seu local de trabalho (biblioteca) mais ruidoso do que a sua habitação?  
Se **Sim**, indique por favor o que acha que deveria ser mudado para alterar essa situação [indique só uma situação, a mais gravosa].  
Não, nunca ☐  
Sim, por vezes ☐  
Sim, sempre ☐ \_\_\_\_\_
- 2) Considera que o ruído afecta o seu rendimento no local de trabalho?  
Todos os dias ☐ Muitas vezes ☐ Algumas vezes ☐ Poucas vezes ☐ Nunca ☐
- 3) Dos seguintes **ruídos** quais são para si os mais incomodativos/perturbadores? Ordene de 1 (mais incomodativo) a 7 (menos incomodativo) [Não repita números].  
\_\_\_ Ruído do átrio/entrada  
\_\_\_ Ruído de conversação dentro da(s) própria(s) sala(s) de leitura  
\_\_\_ Ruído proveniente de outras salas ou locais contíguos (não de leitura)  
\_\_\_ Ruído de percussão (passos, saltos, bater de portas, queda de objectos, etc.)  
\_\_\_ Ruído do exterior (tráfego, etc.)  
\_\_\_ Ruído dos equipamentos de ventilação/aquecimento  
\_\_\_ Ruído de outros equipamentos (elevador, computadores, etc.)
- 4) Considera existir na Biblioteca algum tipo de ruído incomodativo que não tenha sido referido acima? Se **sim** indique, por favor, qual.  
☐ Não ☐ Sim. Qual? \_\_\_\_\_
- 5) Até quanto (em euros) estaria disposto(a) a ver o seu salário mensal diminuído para tornar excelentes as condições acústicas do seu local de trabalho?  
0 € ☐ 2 € ☐ 4 € ☐ 6 € ☐

#### 4.3.2. APRESENTAÇÃO DO QUESTIONÁRIO

Segundo a norma NP 4476 [26], em relatórios científicos, a apresentação da informação essencial dos inquéritos deve obedecer a um conjunto de especificações mínimas, seguidamente apresentadas, fundamentais para avaliar a possibilidade de efectuar comparações com outros inquéritos. Uma vez que o presente inquérito não se enquadra exactamente no campo de aplicação da norma, alguns itens foram eliminados por não se ajustarem a este conjunto de especificações.

##### a) Aspecto Global

- Data do inquérito: realizado de Março a Abril de 2009;
- Localização: todos os inquéritos foram realizados em Portugal, através da colaboração das bibliotecas municipais de Albufeira, Alcácer do Sal, Alcanena, Alenquer, Alijó, Marquesa do Cadaval (Almeirim), Amarante, Anadia, Tomás Figueiredo (Arcos de Valdevez), Arganil, Arouca, Azambuja, José Saramago (Beja), Casa da Horta da

Quinta de Santa Clara (Cascais), Vila Nova da Barquinha (Castelo Branco), Castro Verde, Faro, Simões de Almeida (Figueiró dos Vinhos), Grândola, Eduardo Lourenço (Guarda), Prof. Moraes Barbosa (Lisboa), Maceda, Florbela Espanca (Matosinhos), Bento de Jesus Caraça (Moita), Almeida Faria (Montemor-o-Novo), Nelas, Óbidos, Ovar, Palmela, Penafiel, Pombal, Dr. Manuel Francisco Estanco Louro (S. Brás de Alportel), S. Roque do Pico, Sesimbra, Silves, Sines, Álvaro de Campos (Tavira), Tomar, Tomás Ribeiro (Tondela), Gustavo Pinto Lopes (Torres Novas), Válega, José Régio (Vila do Conde), Vila Franca de Xira, Vila Nova de Gaia, Dr. Júlio Teixeira (Vila Real), Prof. Machado Vilela (Vila Verde) e as bibliotecas da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, Faculdade de Ciências (Lisboa), Faculdade de Ciências Sociais e Humanas da Universidade Nova de Lisboa e Instituto Superior de Gestão (Lisboa);

- Selecção do local do inquérito: bibliotecas públicas integradas na Rede Nacional de Bibliotecas Públicas (RNBP) e em diversas faculdades;
- Objectivo do estudo: quantificar a incomodidade dos vários tipos de ruídos presentes nas bibliotecas; identificar campos de actuação para melhoria das condições acústicas; qualificar a importância da acústica no quotidiano dos utilizadores de bibliotecas.

b) Amostra do Inquérito Social

- Selecção da amostra: a amostra relaciona-se com os locais de inquérito, sendo exclusiva a funcionários de bibliotecas;
- Tamanho e qualidade da amostra: dum total de 150 bibliotecas contactadas, respostas por parte de 51 (34%), originando um total de 139 inquéritos preenchidos, dos quais 122 foram consideradas válidos. A invalidade dos inquéritos foi decretada devido ao incumprimento das instruções de resposta indicadas. Não foram apresentadas razões para a não-resposta por parte da grande maioria das bibliotecas que não participaram (a Câmara Municipal do Porto através do seu Departamento Municipal de Bibliotecas informou por escrito que não autorizava a circulação e preenchimento deste inquérito pelos funcionários das bibliotecas públicas do Porto).

c) Levantamento de Dados do Inquérito Social

- Métodos do inquérito: preenchimento autónomo por parte do inquirido;
- Exactidão da estimativa da amostra: 122 respostas para a análise principal.

d) Condições Acústicas

- Fonte de ruído: acústica de edifícios – ruídos de condução aérea, ruídos de percussão e ruídos de equipamentos e instalações;
- Exactidão da estimativa do ruído: considera-se a estimativa exacta, de acordo com os dados obtidos e devido à impossibilidade de efectuar melhor estimativa dentro do prazo estipulado.

e) Análise Básica Dose/Resposta: análise detalhada no subcapítulo 4.3.3.



#### 4.3.3. ANÁLISE DAS RESPOSTAS AO QUESTIONÁRIO

A análise das respostas foi feita através do tratamento estatístico, sendo os gráficos obtidos apresentados e analisados de seguida.

A questão 1 (*“Considera o seu local de trabalho (biblioteca) mais ruidoso do que a sua habitação? Se Sim, indique por favor o que acha que deveria ser mudado para alterar essa situação.”*), cujas respostas são analisadas na figura 4.1, mostra uma clara opção pela resposta *“Sim, por vezes”* com 47% das preferências, apresentando-se as restantes opções, *“Sim, sempre”* e *“Não, nunca”*, com percentagens semelhantes entre si, respectivamente 25% e 28%. Isto indica a clara percepção da existência de ruído nestes locais, confirmado numa análise mais global em que se pode constatar a predominância do *“Sim”* (72%) face ao *“Não”* (28%).

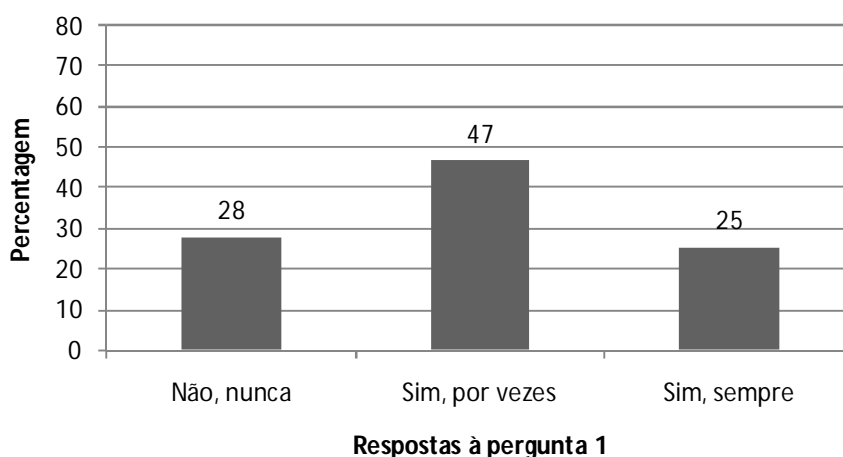


Figura 4.1 – Percentagem de respostas à pergunta 1 do questionário (*“Considera o seu local de trabalho (biblioteca) mais ruidoso do que a sua habitação?”*).

Apesar do grande número de respostas *“Sim”*, nem todas apresentam soluções para possíveis alterações, no entanto consideram-se importantes as soluções apresentadas. Algumas das respostas indicam a origem do ruído, apesar de não corresponder ao objectivo da questão estas consideram-se úteis uma vez que identificada a fonte é possível atacar o problema. As origens de ruído mais frequentemente indicadas são os computadores, bares, uso de telemóveis, conversa entre utilizadores e visitas guiadas de grupos. As restantes respostas forneceram possíveis soluções práticas para diminuir o ruído, podendo distinguir-se deste conjunto de respostas dois grupos: as soluções relacionadas com a construção, organização ou acústica do edifício a as soluções consideradas da competência da direcção do espaço.

As soluções apresentadas que estão relacionadas com a construção, organização ou condições acústicas do edifício são as seguintes:

- Mais isolamento acústico (necessidade relacionada com a deficiente construção dos edifícios ou o aproveitamento de edifícios antigos reaproveitados e que estão mal preparados);
- Separação de salas com fins distintos (não funcionamento em *open space*);
- Pé-direito mais pequeno;
- Remodelação das condutas de ar condicionado;

- Alterar a localização do servidor do sistema de gestão integrada da biblioteca;
- Controlo da temperatura para evitar abertura das janelas;
- Isolamento do sector infantil;
- Isolamento do bar.

As soluções consideradas de competência da direcção do espaço são as seguintes:

- Colocar segurança para controlar os utilizadores;
- Sensibilizar os próprios funcionários para que possam dar o exemplo de um comportamento adequado ao local;
- Controlar os horários para visitas em grupo;
- Evitar presença de computadores em salas de leitura;
- Controlar a realização de actividades mais ruidosas – reuniões, colóquios, exposições, actividades de animação, etc.

Um pequeno número de inquiridos afirma a existência de mais ruído na biblioteca do que na sua habitação, mas consideram esta situação natural sendo um espaço público bastante frequentado. No entanto consideram também que devem existir espaços mais silenciosos no interior da biblioteca.

A questão 2 (“*Considera que o ruído afecta o seu rendimento no local de trabalho*”) apresenta uma maior distribuição da percentagem de respostas pelas diversas opções (Figura 4.2), no entanto permite concluir que o ruído produzido nas bibliotecas é perturbador do rendimento de trabalho dos seus funcionários. Este facto é corroborado através de uma análise mais radical, em que se considere qualquer tipo de incómodo como uma perturbação do rendimento, obtendo assim 88% de respostas afirmativas face a apenas 12% de respostas negativas.

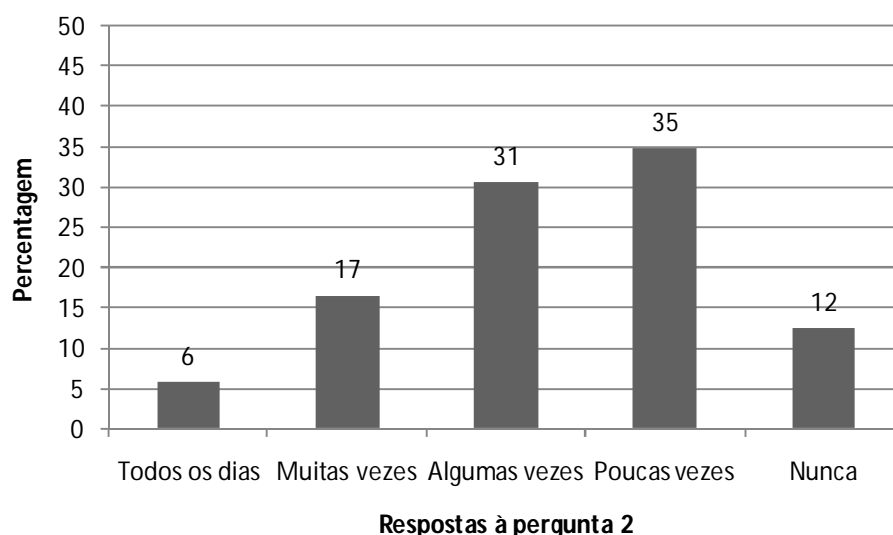


Figura 4.2 – Percentagem de respostas à pergunta 2 do questionário (“*Considera que o ruído afecta o seu rendimento no local de trabalho?*”).

A questão 3 (“*Dos seguintes ruídos quais são para si os mais incómodos/perturbadores? Ordene de 1 (mais incómodo) a 7 (menos incómodo).*”) passa, como é perceptível, por ordenar um

conjunto de hipóteses previamente definidas de ruídos existentes em bibliotecas – ruído do átrio/entrada, ruído de conversação dentro da própria sala de leitura, ruído proveniente de outras salas ou locais contíguos (não de leitura), ruído de percussão, ruído do exterior, ruído dos equipamentos de ventilação/aquecimento e ruído de outros equipamentos. Devido à sua importância para o algoritmo a desenvolver, esta questão foi analisada de quatro formas distintas:

**1ª Análise:** Segundo a norma NP 4476 de 2008 já citada, deve ser apresentada para cada tipo de exposição ao ruído um quadro com a frequência das classificações de incomodidade. Assim, nas figuras 4.3 a 4.9 apresenta-se, para cada categoria de ruído, as percentagens de respostas a cada uma das classificações.

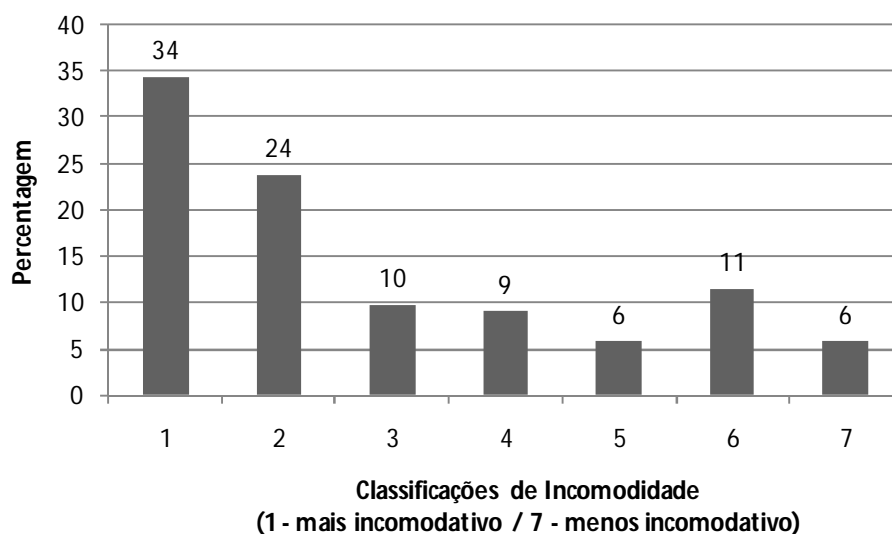


Figura 4.3 – Percentagem obtida por cada classificação na categoria *ruído do átrio/entrada*.

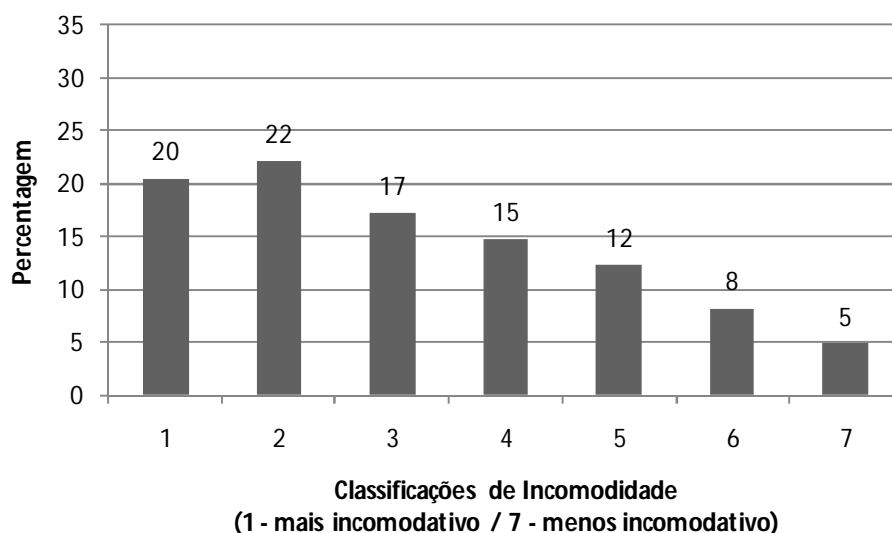


Figura 4.4 – Percentagem obtida por cada classificação na categoria *ruído de conversação dentro da própria sala*.

Da análise das figuras 4.3 e 4.4 verifica-se que as categorias *ruído do átrio/entrada* e *ruído de conversação dentro da própria sala de leitura* apresentam elevada percentagem de respostas para as classificações iniciais (1 e 2), correspondentes a uma classificação de “mais incomodativo”, enquanto para as restantes classificações têm um decréscimo de percentagens de respostas.

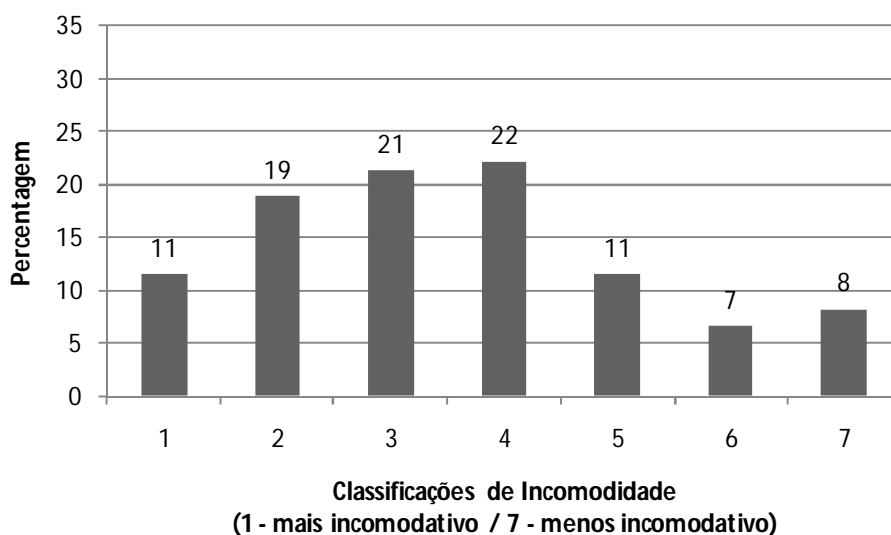


Figura 4.5 – Percentagem obtida por cada classificação na categoria *ruído proveniente de outras salas ou locais contíguos*.

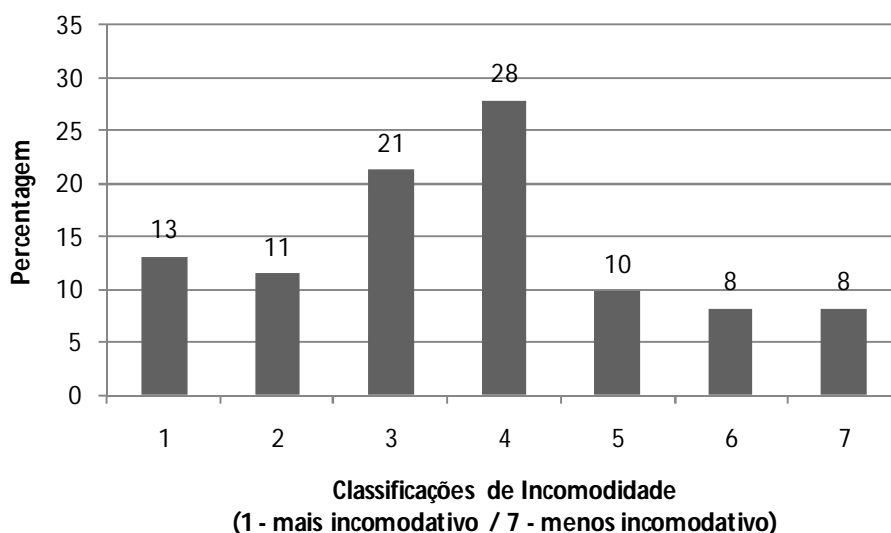


Figura 4.6 – Percentagem obtida por cada classificação na categoria *ruídos de percussão*.

Das figuras 4.5 e 4.6 constata-se a elevada percentagem de respostas para as classificações 3 e 4, apresentando contudo uma diferença na distribuição da percentagem de respostas nas restantes classificações indiciando uma distinção entre as duas categorias de ruído. Para o ruído proveniente de

outras salas ou locais contíguos (figura 4.5) à elevada percentagem das classificações 3 e 4 junta-se uma grande percentagem de respostas na classificação 2. Por outro lado o ruído de percussão (figura 4.6) apresenta, à excepção das classificações 3 e 4, valores semelhantes nas percentagens de respostas das restantes classificações. Daqui se pode concluir que o ruído proveniente de outras salas ou locais contíguos assume uma posição de “mais incomodativo”, situando-se o ruído de percussão numa zona “indefinida”, podendo ser considerado incomodativo mas não se aproximando dos extremos (muito ou pouco incomodativo). Por seu turno, as três restantes categorias de classes de exposição ao ruído apresentam valores elevados da percentagem de respostas para as mais baixas classificações (5, 6 e 7), situando-se assim na zona “menos incomodativa”. Pela figura 4.9 verificamos que o ruído de outros equipamentos é o que possui melhores classificações, isto é, apresenta-se como menos incomodativo visto que tem valores elevados de percentagem de respostas das classificações 5, 6 e, em especial, 7. Quando comparado com a categoria de ruído de equipamentos de ventilação/aquecimento (figura 4.8), apesar desta ter menores percentagens nas três classificações (5, 6 e 7) em conjunto (figura 4.12), apresenta uma percentagem menor na pior classificação (classificação 5), contudo, devido às percentagens superiores que apresenta para a maioria das restantes classificações (2, 3 e 4) pode-se considerar mais incomodativa do que o ruído de outros equipamentos. Apesar disto, devido às elevadas classificações de 5, 6 e 7, considera-se este ruído como sendo um ruído pouco incomodativo. Por último, a categoria de ruído do exterior que apresenta as suas percentagens bem distribuídas (figura 4.7), assemelhando-se mesmo quase a uma curva de Gauss com frequência central de 5 na classificação de incomodidade. Posto isto, estando a frequência central descentrada relativamente à escala de classificações, esta categoria é classificada como pouco incomodativa embora seja claramente mais incomodativa duas categorias anteriormente abordadas (ruído de equipamentos de ventilação/aquecimento e ruído de outros equipamentos) mas sem nunca se aproximar da incomodidade do ruído de percussão.

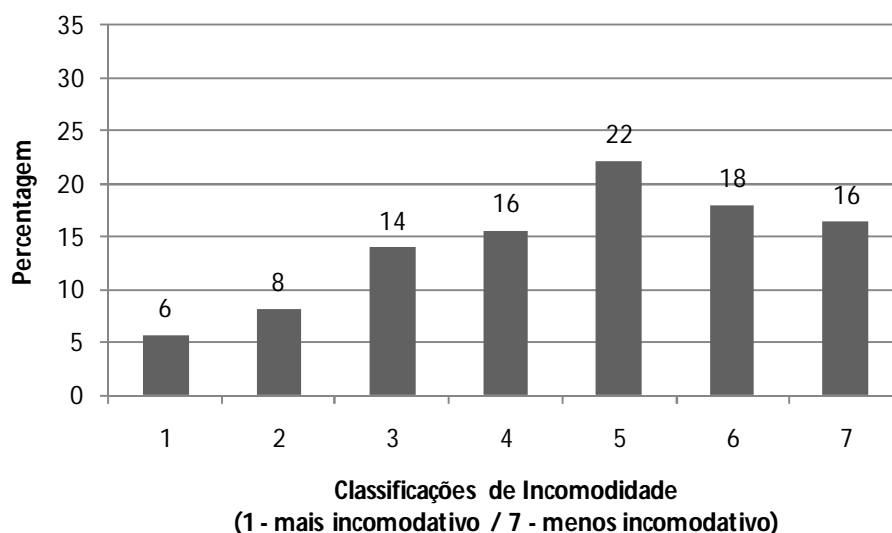


Figura 4.7 – Percentagem obtida por cada classificação na categoria *ruído proveniente do exterior*.

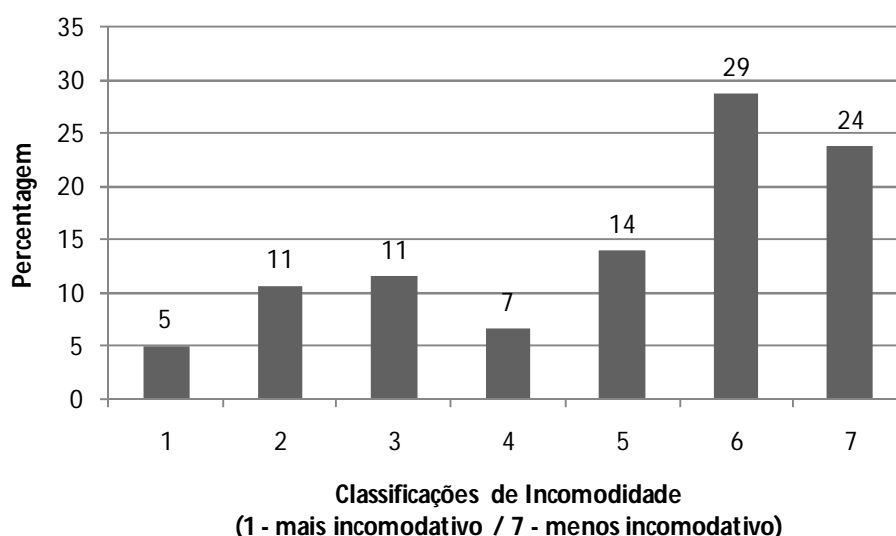


Figura 4.8 – Percentagem obtida por cada classificação na categoria *ruído dos equipamentos de ventilação/aquecimento*.

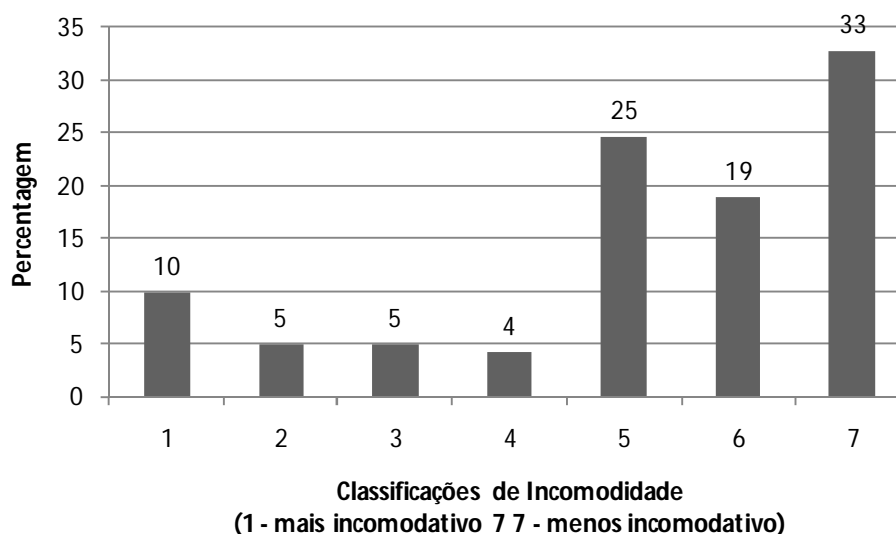


Figura 4.9 – Percentagem obtida por cada classificação na categoria *ruído de outros equipamentos*.

**2ª Análise:** Na figura 4.10 pode-se observar a percentagem de vezes que cada tipo de ruído teve em determinada classificação. Verifica-se que nas classificações 1, 2 e 3 são as três primeiras categorias de ruído – ruído do átrio/entrada, ruído de conversação dentro da própria sala e ruído de salas ou locais contíguos – que imperam, tendo a classificação 1 (mais incomodativa) na categoria átrio/entrada uma percentagem de 34%, que é claramente superior às restantes. Por outro lado nas classificações 5, 6 e 7 são as três últimas categorias – ruído do exterior, ruído de equipamentos de ventilação/aquecimento e ruído de outros equipamentos – que sobressaem, com realce para a categoria ruído de equipamentos de ventilação/aquecimento na classificação 6 e a categoria de ruídos de outros equipamentos na

classificação 7. A categoria ruídos de percussão assume um valor de destaque na classificação 4 com 28% das respostas desta classificação a recair sobre esta categoria.

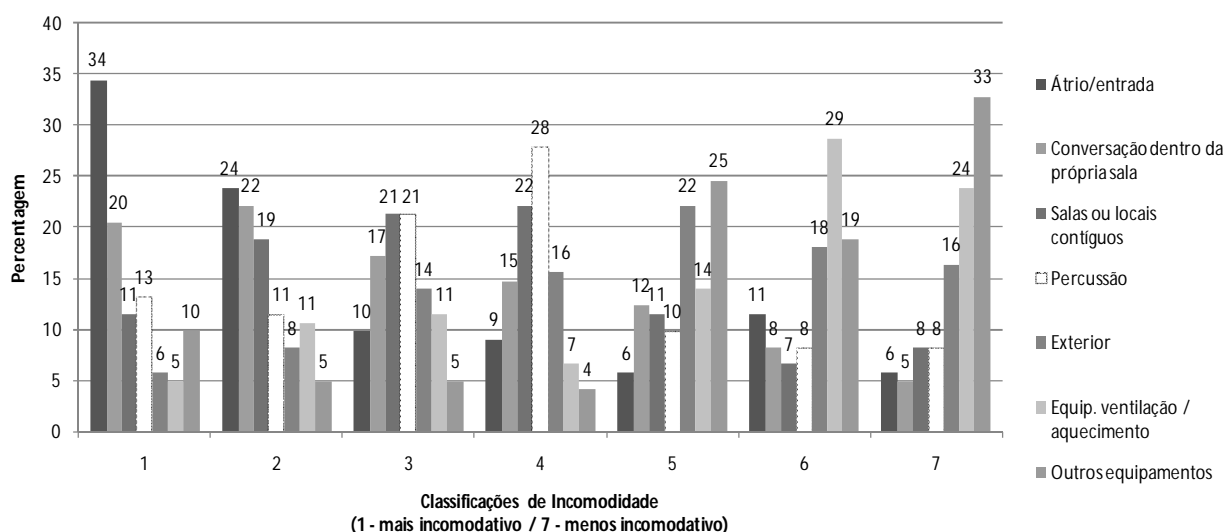


Figura 4.10 – Percentagem, por cada categoria, de todas as classificações obtidas.

**3ª Análise:** A aglomeração de algumas categorias em determinados conjuntos de classificações leva a esta análise, representada pelas figuras 4.11 e 4.12, em que se faz a distinção entre os ruídos “muito incomodativos” e “pouco incomodativos”. Para tal considera-se a percentagem de vezes que cada tipo de ruído foi 1, 2 ou 3 – para ser considerado *muito incomodativo* – ou 5, 6 ou 7 – para ser considerado *pouco incomodativo*.

Da análise das figuras obtêm-se as seguintes conclusões: a figura 4.11 permite considerar que as categorias ruído do átrio/entrada, ruído de conversação dentro da própria sala de leitura e ruído de salas ou locais contíguos, com percentagens acima dos 50%, são as mais ruidosas, estando a quarta categoria – ruído de percussão – bastante próxima deste grupo com 46% e as restantes categorias com percentagens bastante baixas; por outro lado a figura 4.12 corrobora a conclusão da análise e da figura anteriores evidenciando a “não-incomodidade” das categorias ruído do exterior, ruído de equipamentos de ventilação/aquecimento e ruído de outros equipamentos que apresentam percentagens de classificações “pouco incomodativas” superiores a 50%.

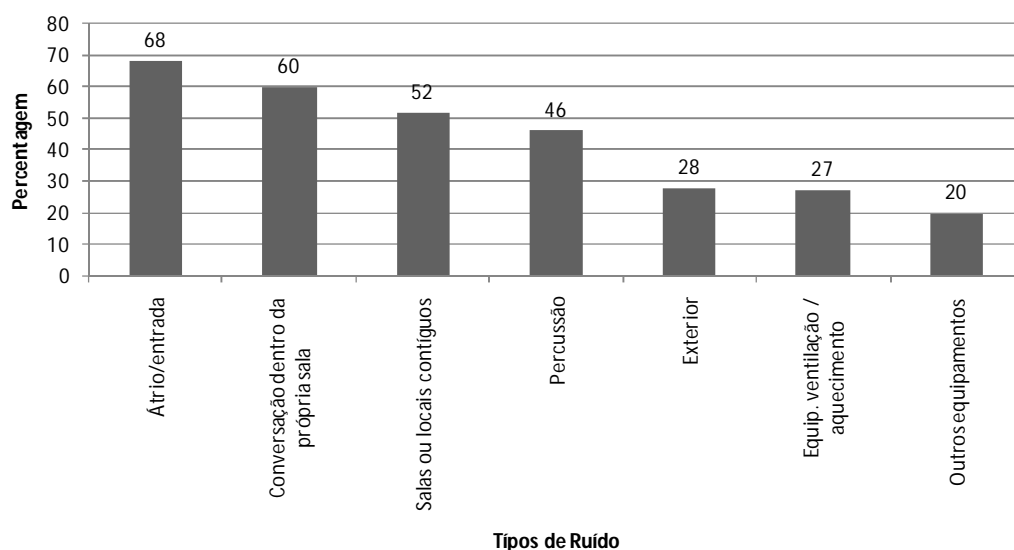


Figura 4.11 – Percentagem de vezes que cada categoria obteve as classificações 1, 2 ou 3 (mais incomodativo) de entre todas as suas classificações.

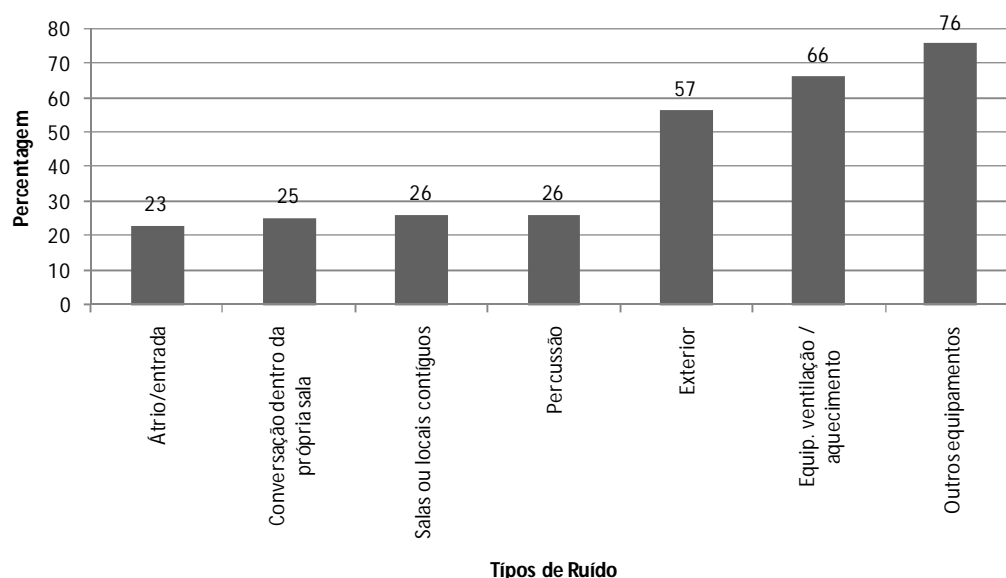


Figura 4.12 – Percentagem de vezes que cada categoria obteve as classificações 5, 6 ou 7 (menos incomodativo) de entre todas as suas classificações.

**4ª Análise:** Após esta clara clivagem entre dois conjuntos de categorias –  *muito incomodativo* e *pouco incomodativo* – surge a necessidade de distinguir cada categoria dentro do seu grupo. Esta análise parte dos valores da 3ª análise e identifica dentro das duas classes já definidas – *muito incomodativo* e *pouco incomodativo* – qual o peso de cada categoria de ruído para essa classe. Nos “muito incomodativos” (figura 4.13) verifica-se que a categoria átrio/entrada será a mais incomodativa, seguida das categorias conversação dentro da própria sala e ruído de proveniente de outras salas ou locais contíguos. O ruído de percussão apresenta também uma percentagem significativa na classe “muito incomodativo” devendo-se esta à elevada percentagem obtida nas classificações 3 e 4, pelo que



não é inserido no grupo dos mais incomodativos. Na classe “pouco incomodativos” (figura 4.14), a categoria ruído de outros equipamentos domina com 25%, seguida dos equipamentos de ventilação/aquecimento com 22% e do ruído do exterior com 19%, tendo as restantes categorias valores inferiores a 10%, pelo que se denota uma clara diferença entre este grupo de categorias – *pouco incomodativas* – e as restantes.

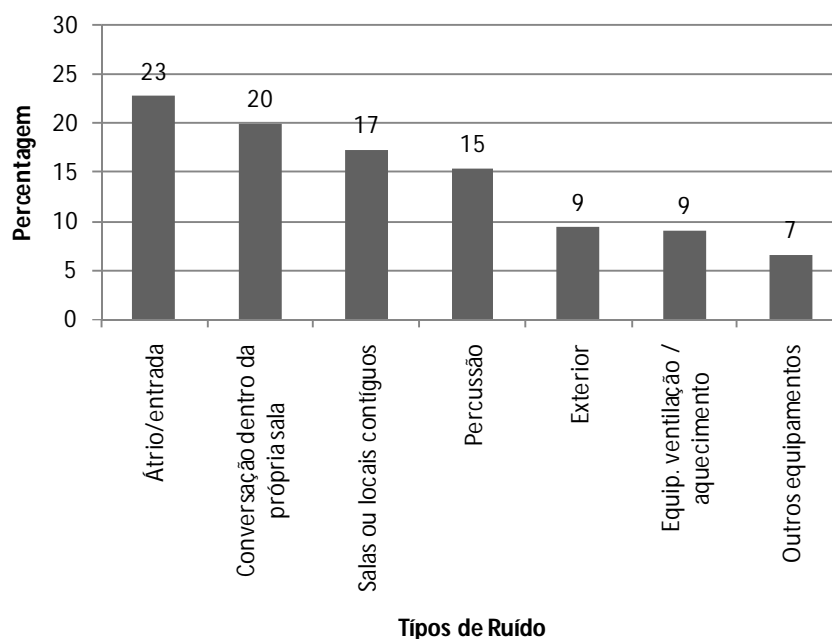


Figura 4.13 – Percentagem de vezes que é o mais incomodativo (1) dentro das classificações muito incomodativas (1, 2 e 3).

Esta análise é similar à 1ª análise não fornecendo dados novos, justificando-se e diferenciando-se da primeira apenas pela junção das diversas categorias em grupos denominados “classes”.

A questão 4 (“*Considera existir na Biblioteca algum tipo de ruído incomodativo que não tenha sido referido acima? Se **sim** indique, por favor, qual.*”), como já foi referido, é um complemento da questão 3, procurando identificar ruídos incomodativos que não foram referidos na questão transacta. Pela análise da figura 4.15 observamos a esmagadora maioria de respostas “Não” com 93%, indicando que todos os ruídos presentes no ambiente das bibliotecas foram considerados na questão 3, o que permite considerar válido o uso no algoritmo das conclusões retiradas dessa questão. Apesar da pequena percentagem de respostas “Sim” (7%), importa analisar estas respostas e procurar entender se os ruídos propostos se enquadram nas categorias de ruídos já existentes ou se sugerem a criação de novas categorias. Dos 7% de respostas afirmativas (correspondentes a 9 respostas) verifica-se que três respostas indicam o ruído provocado por telemóveis, duas respostas apontam o bar, e com apenas uma resposta são mencionados o *scanner*, a montagem de exposições, a incompetência técnica e o conjunto bar/secção infantil/grupos em visita. Assim verifica-se que à excepção da “incompetência técnica” e da “montagem de exposições”, os restantes ruídos podem ser enquadrados nas categorias já existentes. O ruído dos telemóveis e do *scanner* podem ser incluídos na categoria ruído de outros equipamentos. O ruído provocado pelo bar insere-se na categoria ruído proveniente de outras salas ou locais contíguos ou, caso o espaço funcione em regime de *open space*, na categoria de ruído de conversação

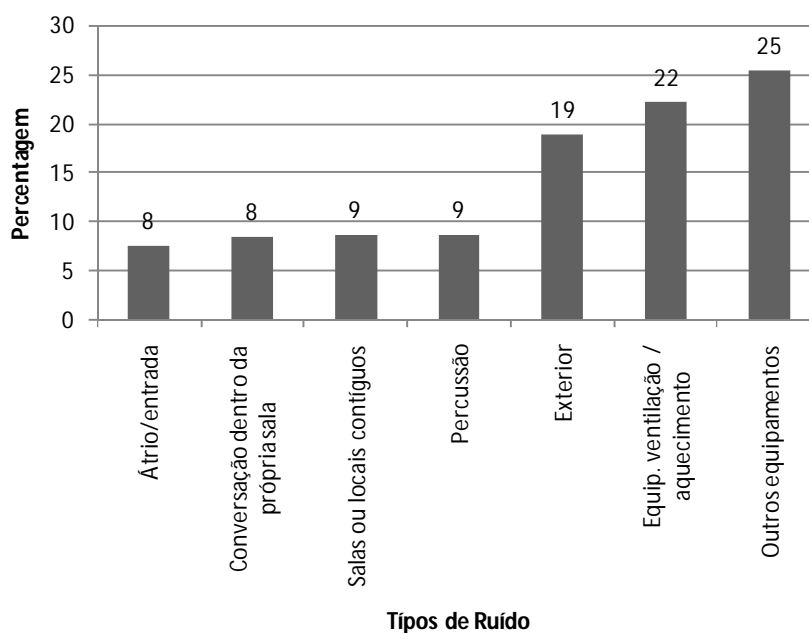


Figura 4.14 – Percentagem de vezes que é o menos incómodo (7) dentro das classificações pouco incómodas (5, 6 e 7).

dentro da própria sala de leitura se o ruído predominante for o diálogo entre utilizadores do bar ou na categoria ruído de outros equipamentos se for o ruído proveniente dos equipamentos do bar. O ruído proveniente da secção infantil e dos grupos em visita pode ser enquadrado numa das seguintes categorias: ruído de conversação dentro da própria sala de leitura, ruído proveniente de outras salas ou locais contíguos ou ruído de percussão. O ruído da montagem de exposições, sendo uma situação pontual, não deve ser considerado no algoritmo uma vez que não representa um ruído frequentemente presente na generalidade das bibliotecas. Quanto à “incompetência técnica” esta não pode ser considerada um tipo de ruído, sendo quando muito, incluída numa das categorias que expressam os ruídos aéreos (átrio/entrada, conversação dentro da própria salas de leitura ou proveniente de outras salas ou locais contíguos). Assim, se consideradas estas oito respostas (exceptuando a montagem de exposições) integradas nas categorias já existentes, teríamos 99% de respostas negativas o que permite desfazer eventuais dúvidas quanto à utilização das conclusões e dados retirados deste questionário para a elaboração do algoritmo.

A questão 5 (“Até quanto (em euros) estaria disposto(a) a ver o seu salário diminuído para tornar excelentes as condições acústicas do seu local de trabalho?”) tinha como possíveis respostas os valores de 0 €, 2 €, 4 € e 6 €. A figura 4.16 indica a clara opção dos inquiridos pela resposta 0 €, com 79% das escolhas, tendo as restantes opções percentagens diminutas. Esta distribuição indica que apesar dos inquiridos darem importância ao ruído (questão 1) e o considerarem perturbador (questão 2), não estão, na generalidade, dispostos a contribuir monetariamente (nem em valores quase insignificantes) para a eliminação deste incómodo, o que indica que a preocupação com este problema não é tão significativa como se conclui na questão 1. Porém, agregando todas as pequenas contribuições diferentes de 0 €, verifica-se pela figura 4.17 que a percentagem de inquiridos que está disposta a contribuir com uma parte mínima do seu salário para a melhoria das condições acústicas é de 21%, valor significativo que pode indiciar uma preocupação crescente com este problema.

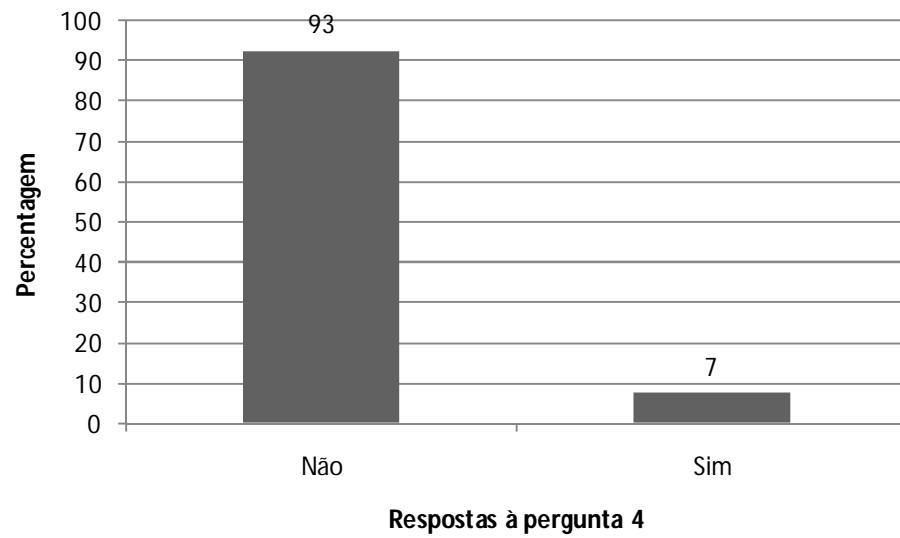


Figura 4.15 – Percentagem de respostas à pergunta 4 do questionário (“Considera existir na Biblioteca algum tipo de ruído incomodativo que não tenha sido referido acima? Se **sim** indique, por favor, qual.”).

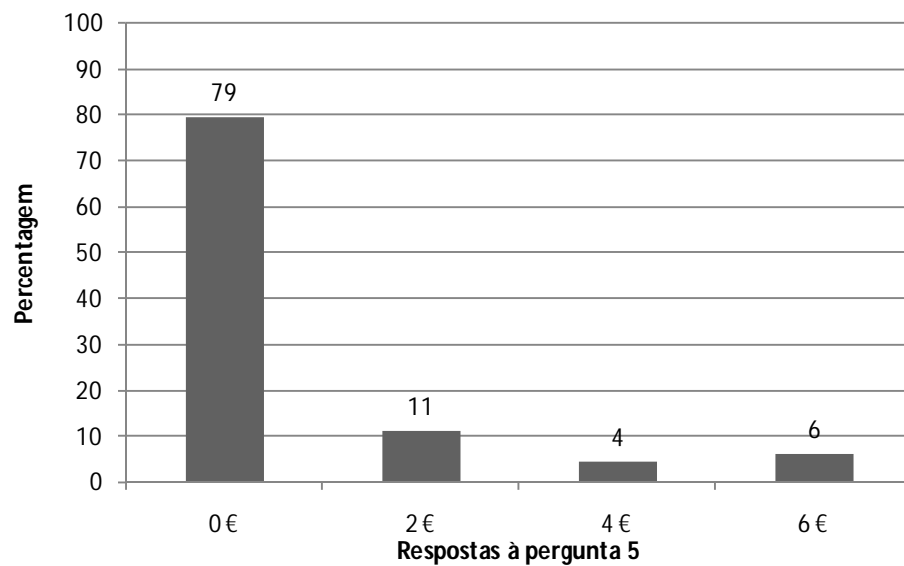


Figura 4.16 – Percentagem de respostas à pergunta 5 do questionário (“Até quanto (em euros) estaria disposto(a) a ver o seu salário diminuído para tornar excelentes as condições acústicas do seu local de trabalho?”).

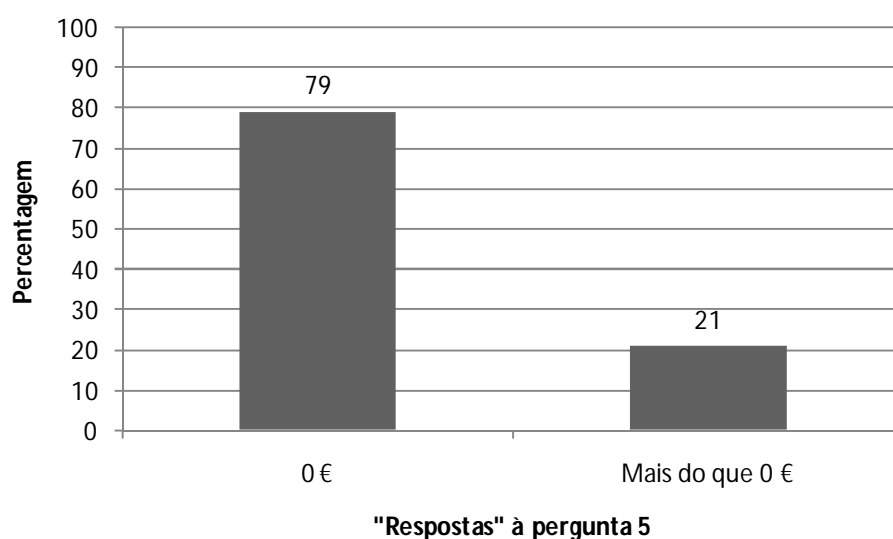


Figura 4.17 – Nova análise aglutinadora à percentagem de respostas à pergunta 5 do questionário (*“Até quanto (em euros) estaria disposto(a) a ver o seu salário diminuído para tornar excelentes as condições acústicas do seu local de trabalho?”*).

#### 4.3.4. CONCLUSÕES DO QUESTIONÁRIO

O questionário permite-nos tirar dois tipos de conclusões: auxiliar a definição do peso dos critérios correspondentes às categorias de ruído a adoptar no algoritmo multi-critério a desenvolver (quadro 4.1) e aferir a importância da acústica no quotidiano dos utilizadores das bibliotecas.

Relativamente ao auxílio à definição dos pesos de cada critério, pode-se concluir que o ruído proveniente do átrio/entrada, o ruído de conversação dentro da própria sala de leitura e o ruído proveniente de outras salas ou locais contíguos são os principais causadores de incomodidade para os funcionários, logo assumindo que os utilizadores têm uma opinião idêntica, estas categorias de ruído devem ter maior influência no método. Assim, opta-se por atribuir igual peso ao ruído proveniente do átrio/entrada e ao ruído de conversação dentro da própria sala de leitura, tendo cada um deles uma importância relativa de 25%. Como se pode verificar, apesar da sua importância, o ruído proveniente de outras salas ou locais contíguos não é tão incomodativo como os anteriores, logo terá uma percentagem de 20%. O ruído de percussão pode ser analisado de forma análoga, isto é, o ruído de percussão ao ficar numa zona neutra (nem muito incomodativo nem pouco incomodativo) terá que ter uma percentagem inferior à dos ruídos mais incomodativos. No entanto este também se destaca dos ruídos menos incomodativos, assim, opta-se por atribuir uma importância relativa de 15% ao ruído de percussão. Na classe “pouco incomodativos” o ruído proveniente do exterior é mais incomodativo do que ambos os ruídos dos equipamentos, que se destacam por serem muito pouco incomodativos. Desta forma opta-se por atribuir uma percentagem de 10% ao ruído proveniente do exterior e 5% ao ruído dos equipamentos. Os ruídos dos equipamentos de aquecimento/ventilação e de outros equipamentos formam, juntos, apenas um critério uma vez que, devido à sua pequena importância e à dificuldade de diferenciação dos dois tipos de ruídos durante uma medição, não se justifica a sua divisão.

Quanto à importância da acústica no quotidiano dos utilizadores é aferida através da importância que esta tem para os funcionários das bibliotecas. Verifica-se que estes estão sensibilizados para o

problema do ruído uma vez que consideram mesmo que é perturbador do seu rendimento, contudo não estão (ainda) dispostos a pagar por esta melhoria.

Quadro 4.1 – Importância de cada categoria de ruído em função das respostas ao questionário proposto aos funcionários das bibliotecas públicas.

Categoria de Ruído	Percentagem (%)
Átrio / Entrada	25
Conversação dentro da própria sala	25
Proveniente de salas ou locais contíguos	20
Percussão	15
Exterior	10
Equipamentos	5

#### 4.4. DEFINIÇÃO DOS CRITÉRIOS UTILIZADOS NO MÉTODO MULTI-CRITÉRIO

A definição dos critérios utilizados no algoritmo proposto surge quase intuitivamente após a análise dos requisitos para a boa qualidade acústica das bibliotecas, sendo complementada pelos trabalhos na área da acústica que utilizaram o mesmo método e corroborada pelos resultados dos questionários, como se pode ver em 4.3.4.

Em primeiro lugar, são analisados dois parâmetros relativos ao condicionamento acústico das salas, o tempo de reverberação e o RASTI (*Rapid Speech Transmission Index*), que sendo parâmetros disponíveis na amostra terão um papel preponderante. A utilização do tempo de reverberação é quase obrigatória devido ao seu uso tradicional nesta área. Este encontra-se relacionado com o efeito que todos os tipos de ruído terão na sala de leitura uma vez que dá a indicação da duração dos ruídos nesse espaço, proporcionando assim importância acrescida a este critério. O RASTI encontra-se directamente relacionado com a categoria “Ruído de conversação dentro da própria sala de leitura”, através da quantificação da inteligibilidade da palavra. Sobre esta categoria é de realçar que este será o único parâmetro que faz sentido usar, isto porque a opção pela medição do nível sonoro do ruído de conversação seria muito difícil uma vez que outros tipos de ruídos seriam também medidos, acrescentando ainda que a correcção do nível sonoro não depende do projectista. Assim, ao optar pela inteligibilidade da palavra é dada a possibilidade ao projectista de compreender a influência das suas opções na definição da qualidade acústica ao dispor do utilizador. Outro parâmetro cujos valores são fornecidos pela amostra e que integra o conjunto de critérios é o ruído dos equipamentos, que se enquadra na representação das condições acústicas interiores, mais concretamente na produção de ruído no interior dos espaços. A capacidade de isolamento dos espaços a ruídos aéreos é reproduzida pelos índices de isolamento sonoro a ruídos de condução aérea entre compartimentos interiores contíguos e das paredes exteriores. O ruído produzido no átrio é estudado através de dois parâmetros, a absorção sonora e o isolamento/contiguidade entre este e a sala de leitura. O isolamento sonoro a ruídos de percussão apresenta, através da análise do questionário (4.4.3), uma importância relevante pelo que também será considerado. Obtêm-se assim os seguintes oito critérios que fazem parte do algoritmo multi-critério a desenvolver:  $T_R$ , RASTI,  $A_{\text{átrio}}$ ,  $D_{\text{átrio}}$ ,  $D_{nT,w,\text{salas contíguas}}$ ,  $D_{2m,nT,w}$ ,  $L'_{nT,w}$  e  $L_{Ar}$ .

A diferença de tratamento entre o átrio/entrada e as salas contíguas à sala de leitura está relacionada com a posição relativa entre estes dois espaços e a sala de leitura. Se por um lado, como o próprio nome indica, as salas contíguas à sala de leitura se encontram lado a lado tendo sempre uma separação

física entre estas e a sala de leitura, justificando-se a adopção do isolamento sonoro a ruídos aéreos ( $D_{nT,w}$ ) como parâmetro caracterizador do elemento de separação, por outro lado a posição do átrio/entrada relativamente à sala de leitura não é igual em todos os casos. Desta forma, opta-se por adoptar o subcritério  $D_{\text{átrio}}$  que representa o isolamento/contiguidade do átrio face à sala de leitura e o subcritério  $A_{\text{átrio}}$  que representa a absorção sonora do átrio e que se irão complementar. Isto é, perante uma excelente absorção sonora o isolamento/contiguidade poderia ter um valor mais fraco que não influenciaria muito o grau de incomodidade para o utilizador da sala de leitura uma vez que não haveria muito som para ultrapassar a divisão entre os dois espaços visto já ter sido, em parte, absorvido. O inverso também se verifica uma vez que caso o isolamento/contiguidade seja excelente, por si só evitará a passagem do som para a sala de leitura, podendo a absorção sonora do átrio ser menor.

## 4.5. DETERMINAÇÃO DAS ESCALAS DE VALOR DOS CRITÉRIOS

### 4.5.1. BASES PARA A DETERMINAÇÃO DAS ESCALAS DE VALOR

A definição das escalas de valor dos critérios escolhidos para integrar o algoritmo multi-critério a desenvolver obedecem a um conjunto de princípios que se podem considerar como sendo a base dessa definição. Neste subcapítulo são apresentadas as bases que levam à definição das escalas de valor e as respectivas escalas.

A atribuição das escalas de valor para cada critério foi feita através da correspondência de um valor ou intervalo de valores reais dos parâmetros acústicos a uma escala de 0-20 valores, tal que a cotação de 20 valores equivale ao valor óptimo do parâmetro e a cotação 0 ao valor totalmente inaceitável. Esta normalização dos valores dos parâmetros tem como objectivo o uso da mesma escala para os diferentes critérios com o propósito de obter uma cotação final para a biblioteca nessa mesma escala, mantendo o peso relativo previamente estabelecido para cada critério. As condições acústicas ideais para uma sala que se pretende silenciosa, bem como as condições mínimas regulamentares, serviram de referências na definição das escalas de valor de cada um dos critérios. O Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE) [15], legislação relativa a projectos de condicionamento acústico e de cumprimento com carácter obrigatório, indica no seu artigo 7.º, ponto 1, os requisitos acústicos a ter em consideração no projecto de bibliotecas, uma vez que se refere aos edifícios de leitura. Ainda assim, sempre que não existam valores relativos a bibliotecas consideram-se as salas de aulas como a analogia mais fidedigna das salas de leitura das bibliotecas, devido principalmente às características impostas pelo regulamento em relação ao isolamento sonoro, uma vez que não se podem igualar as características funcionais interiores dos dois espaços visto serem antagónicas já que as salas de aula são vocacionadas para a palavra. Contudo, devido à necessidade de eliminação de ruídos distractivos nas salas de aula, consideram-se passíveis de ser utilizados no estudo das bibliotecas os valores de isolamento sonoro a ruídos aéreos, de percussão e de equipamentos definidos no regulamento. Os valores por este definidos para o isolamento sonoro das salas de aula revelam-se, porém, pouco exigentes se transpostos para a realidade das bibliotecas, tendo sido adoptados como valores indicativos de cotações satisfatórias ou mínimas mas nunca as ideais. Foram também usados como comparação os valores definidos no RRAE para os compartimentos principais dos edifícios habitacionais, locais de descanso que se supõe silenciosos.

Transcreve-se de seguida o articulado do RRAE (Decreto-Lei n.º 96/2008 de 9 de Junho) [15] usado como base neste estudo:

#### ***Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios***

(...)

### **Artigo 5.º Edifícios habitacionais e mistos, e unidades hoteleiras**

*1 – Os edifícios e as suas fracções que se destinem a usos habitacionais ou que, para além daquele uso, se destinem também a comércio, indústria, serviços ou diversão, estão sujeitos ao cumprimento dos seguintes requisitos acústicos:*

*a) O índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea,  $D_{2m,nT,w}$ , entre o exterior do edifício e quartos ou zonas de estar de fogos deve satisfazer o seguinte:*

*i)  $D_{2m,nT,w} \geq 33$  dB, em zonas mistas ou em zonas sensíveis reguladas pelas alíneas c), d) e e) do n.º1 do artigo 11.º do Regulamento Geral do Ruído;*

*ii)  $D_{2m,nT,w} \geq 28$  dB, em zonas sensíveis reguladas pela alínea b) do n.º1 do artigo 11.º do Regulamento Geral do Ruído;*

(...)

*d) O índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea,  $D_{nT,w}$ , entre locais do edifício destinados a comércio, indústria, serviços ou diversão, como locais emissores, e quartos ou zonas de estar dos fogos, como locais receptores, deve satisfazer o seguinte:*

$$D_{nT,w} \geq 58 \text{ dB}$$

*e) No interior de quartos ou zonas de estar dos fogos, como locais receptores, o índice de isolamento sonoro a sons de percussão,  $L'_{nT,w}$ , proveniente de uma percussão normalizada sobre pavimentos dos outros fogos ou locais de circulação comum do edifício, como locais emissores, deve satisfazer o seguinte:*

$$L'_{nT,w} \leq 60 \text{ dB}$$

(...)

*g) No interior de quartos ou zonas de estar dos fogos, como locais receptores, o índice de isolamento sonoro a sons de percussão,  $L'_{nT,w}$ , proveniente de uma percussão normalizada sobre pavimentos de locais do edifício destinados a comércio, indústria, serviços ou diversão, como locais emissores, deve satisfazer o seguinte:*

$$L'_{nT,w} \leq 50 \text{ dB}$$

(...)

### **Artigo 7.º Edifícios escolares e similares, e de investigação**

*1 – Os edifícios escolares e similares, de investigação e de leitura estão sujeitos aos seguintes requisitos acústicos:*

*a) O índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea,  $D_{2m,nT,w}$ , entre o exterior dos edifícios, como local emissor, e os compartimentos interiores identificados no quadro II do anexo ao presente Regulamento, como locais receptores, deve satisfazer o seguinte:*

*i)  $D_{2m,nT,w} \geq 33$  dB, em zonas mistas ou em zonas sensíveis reguladas pelas alíneas c), d) e e) do n.º1 do artigo 11.º do Regulamento Geral do Ruído;*

ii)  $D_{2m,nT,w} \geq 28$  dB, em zonas sensíveis reguladas pela alínea b) do n.º 1 do artigo 11.º do Regulamento Geral do Ruído;

b) O índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea,  $D_{nT,w}$ , entre locais do edifício, deve satisfazer as condições indicadas no quadro II do anexo ao presente Regulamento;

c) No interior dos locais de recepção definidos no quadro II, o índice de isolamento sonoro a sons de percussão,  $L'_{nT,w}$ , proveniente de uma excitação de percussão normalizada sobre pavimentos de outros locais do edifício, como locais emissores, deve satisfazer o seguinte:

i)  $L'_{nT,w} \leq 60$  dB, se o local emissor for corredor de grande circulação, ginásio, refeitório ou oficina;

ii)  $L'_{nT,w} \leq 65$  dB, se o local emissor for salas de aulas, berçário ou salas polivalentes;

d) No interior dos locais que constam do quadro III do anexo ao presente Regulamento, considerados mobilados normalmente, e sem ocupação, o tempo de reverberação,  $T$ , correspondente à média aritmética dos valores obtidos para as bandas de oitava centradas nas frequências de 500 Hz, 1000 Hz e 2000 Hz, deve satisfazer as condições indicadas no referido quadro;

e) O paramento interior da envolvente dos átrios e corredores de grande circulação deve ser dotado de revestimentos absorventes sonoros, cuja área de absorção sonora equivalente,  $A$  ( $m^2$ ), correspondente à média aritmética dos valores obtidos para as bandas de oitava centradas nas frequências de 500 Hz, 1000 Hz e 2000 Hz, seja maior ou igual a 25% da superfície de pavimento dos locais considerados;

f) No interior dos locais de recepção indicados no quadro II, o nível de avaliação,  $L_{A,r,nT}$ , do ruído particular de equipamentos do edifício deve satisfazer as condições indicadas no quadro IV do anexo ao presente Regulamento.

(...)

### Quadro II

[a que se refere o artigo 7.º, n.º 1, alíneas a), b) e c)]

Locais de recepção	Salas de aula (*)	Bibliotecas e	Salas
-	de professores,	Gabinetes	Polivalentes
Locais de emissão	Administrativas	médicos	e Berçários
Salas de aula, de professores, administrativas	$\geq 45$	$\geq 45$	$\geq 45$
Salas de aula musical, salas polivalentes, refeitórios, ginásios e oficinas	$\geq 55$	$\geq 58$	$\geq 50$



<i>Berçários</i>	$\geq 53$	$\geq 55$	$\geq 48$
<i>Corredores de grande circulação (**)</i>	$\geq 30$	$\geq 35$	$\geq 30$

(\*) *Incluindo salas de aula musical.*

(\*\*) *Considerando que haverá porta de comunicação com os locais receptores; se tal não for o caso, os valores indicados serão acrescidos de 15 dB.*

### Quadro III

[a que se refere o artigo 7.º, n.º 1, alínea d)]

<i>Locais</i>	<i>Tempo de reverberação (500 Hz – 2 kHz)</i>
<i>Salas de aula, de professores, salas polivalentes e refeitórios</i>	$T \leq 0,15 V^{1/3} [s]$
<i>Ginásios</i>	(V. artigo 9.º)

$V$  = volume interior do recinto em causa.

### Quadro IV

[a que se refere o artigo 7.º, n.º 1, alínea f)]

<i>Locais</i>	<i>Nível de Avaliação, <math>L_{Ar, nT}</math></i>
<i>Biblioteca</i>	$L_{Ar, nT} \leq 35 \text{ dB (A)}$ (se o funcionamento do equipamento for intermitente)
	$L_{Ar, nT} \leq 30 \text{ dB (A)}$ (se o funcionamento do equipamento for contínuo)
<i>Restantes locais de recepção indicados no quadro II</i>	$L_{Ar, nT} \leq 35 \text{ dB (A)}$ (se o funcionamento do equipamento for intermitente)
	$L_{Ar, nT} \leq 30 \text{ dB (A)}$ (se o funcionamento do equipamento for contínuo)

## 4.5.2. DEFINIÇÃO DAS ESCALAS DE VALOR

### 4.5.2.1. Tempo de reverberação, $T_R$

As cotações do quadro 4.2 são atribuídas ao critério  $T_R$  sob a forma de intervalos devido aos diversos formatos com que o valor deste critério pode ser apresentado, sendo o intervalo  $[0,6 ; 0,7[$  (s) aquele que tem a melhor cotação. Este intervalo de valores óptimos está relacionado com a necessidade de ter baixos valores de reverberação com o intuito de não prolongar a presença do som na sala de leitura, situando-se o limite superior deste intervalo fora do intervalo considerado bom para as salas de oratória (figura 3.3). No entanto, a cotação do critério  $T_R$  diminui para valores inferiores ao intervalo ideal. Isto deve-se ao facto de tempos de reverberação muito baixos provocarem sonolência e uma

sensação desagradável no ouvinte. De acordo com o RRAE (artigo 7.º, ponto 1, alínea d) – quadro III do seu anexo), em bibliotecas o tempo de reverberação não deve ser superior a  $0,15.V^{1/3}$  (V em  $m^3$ ). Todavia, na prática, o tempo de reverberação não depende unicamente do volume pelo que havendo durante o projecto a preocupação com as condições acústicas da sala de leitura, pressupõe-se que esta poderá ser tratada com materiais absorventes sonoros permitindo assim a obtenção dos valores óptimos definidos no intervalo. Como podemos verificar na figura 3.3 a partir dos 2 s de tempo de reverberação entramos no domínio quase exclusivo da música pelo que se pode considerar qualquer valor superior como inaceitável.

Quadro 4.2 – Escala de valor para o critério tempo de reverberação ( $T_R$ ).

Tempo de Reverberação (s)	Cotação
[0,0 ; 0,1[	3
[0,1 ; 0,2[	6
[0,2 ; 0,3[	10
[0,3 ; 0,4[	12
[0,4 ; 0,5[	16
[0,5 ; 0,6[	19
[0,6 ; 0,7[	20
[0,7 ; 0,8[	19
[0,8 ; 0,9[	15
[0,9 ; 1,0[	11
[1,0 ; 1,2[	9
[1,2 ; 1,4[	7
[1,4 ; 1,6[	5
[1,6 ; 1,8[	3
[1,8 ; 2,0[	1
$\geq 2,0$	0

#### 4.5.2.2. RASTI

Relativamente ao parâmetro RASTI são atribuídas as cotações patentes no quadro 4.3, sendo atribuída a cotação máxima ao intervalo [0,00 ; 0,05[. No RASTI o valor 1 corresponde à máxima inteligibilidade da palavra e 0 à nula inteligibilidade ou máxima privacidade. Assim, sendo prioritário para os utilizadores das bibliotecas a privacidade da palavra com o propósito de evitar quebras de concentração e distrações, os melhores valores serão os mais próximos de 0. Isto porque, não perceber (ou seja, ter pouca inteligibilidade) não perturba a concentração, pois funciona como um ruído de fundo “natural”. Desta forma o intervalo [0,00 ; 0,05[ tem a cotação de 20 valores, tendo sido definidos os restantes valores através de uma iteração quase linear. “Quase” porque devido à diferença de uma unidade entre o número de intervalos e o número de cotações da escala houve a necessidade de suprimir um dos valores da escala, tal como exposto no quadro 4.3.

Quadro 4.3 – Escala de valor para o critério RASTI.

RASTI (adimensional)	Cotação
[0,00 ; 0,05[	20
[0,05 ; 0,10[	19
[0,10 ; 0,15[	18
[0,15 ; 0,20[	17
[0,20 ; 0,25[	16
[0,25 ; 0,30[	15
[0,30 ; 0,35[	14
[0,35 ; 0,40[	13
[0,40 ; 0,45[	12
[0,45 ; 0,50[	10
[0,50 ; 0,55[	9
[0,55 ; 0,60[	8
[0,60 ; 0,65[	7
[0,65 ; 0,70[	6
[0,70 ; 0,75[	5
[0,75 ; 0,80[	4
[0,80 ; 0,85[	3
[0,85 ; 0,90[	2
[0,90 ; 0,95[	1
[0,95 ; 1,00]	0

#### 4.5.2.3. Absorção sonora do átrio, $A_{\text{átrio}}$

No caso do parâmetro  $A_{\text{átrio}}$ , a atribuição das cotações é condicionada pela alínea e) do ponto 1 do 7.º artigo do RRAE, segundo o qual “*o paramento interior da envolvente dos átrios (...) deve ser dotado de revestimentos absorventes sonoros, cuja área de absorção sonora equivalente,  $A$  ( $m^2$ ), (...) seja maior ou igual a 25% da superfície de pavimento dos locais considerados.*”. Desta forma, a quantificação dos valores da área de absorção sonora equivalente passa a estar dependente da área de pavimento. Considera-se assim razoável que a área de absorção sonora equivalente seja 25% da superfície de pavimento, correspondendo à nota 10. Visto que 25% da área de pavimento não é um percentil muito elevado, considera-se que qualquer valor abaixo dos 25% será tido como insatisfatório. Desta forma se a área de absorção sonora equivalente for inferior a 25% da área de pavimento mas superior ou igual a 10% dessa área, terá a cotação de 5 valores, caso seja inferior a 10% terá a cotação mínima de 0 valores. Do lado contrário mas devido às mesmas razões considera-se que acima dos 10 valores deve haver uma divisão de classes, para que caso a área de absorção sonora equivalente tenha

um pequeno acréscimo relativamente aos 25% da área de pavimento não seja considerada uma situação óptima. Estas ponderações resultam na escala de valor definida pelo quadro 4.4.

Quadro 4.4 – Escala de valor para o critério absorção sonora do átrio ( $A_{\text{átrio}}$ ).

$A_{\text{átrio}}$ (% da área de pavimento)	Cotação
> 100	20
[100 ; 75[	18
[75 ; 50[	15
[50 ; 25]	10
]25 ; 10]	5
< 10	0

#### 4.5.2.4. Isolamento/contiguidade do átrio, $D_{\text{átrio}}$

O parâmetro  $D_{\text{átrio}}$  não corresponde a um parâmetro objectivo acústico, estando relacionado com a posição relativa do átrio face à sala de leitura. Caso o átrio não se encontre contíguo à sala de leitura não faz sentido a existência de um critério baseado no isolamento de ruídos aéreos da divisória de separação do átrio com a sala de leitura. Assim, mediante o posicionamento do átrio é possível definir um conjunto de casos que ocorrem frequentemente e justificar o respectivo valor atribuído a cada caso. Perante a possibilidade da não existência de contiguidade directa entre o átrio e a sala de leitura, nem qualquer outro tipo de ligação entre estes que permita a passagem de som, não há qualquer efeito na sala de leitura devido ao ruído produzido no átrio, pelo que se justifica a atribuição da cotação máxima de 20 valores. Ainda no caso de não haver contiguidade entre os dois espaços mas existir uma ligação entre estes (casos comuns nas bibliotecas mais recentes em que existem “buracos” que ligam todos os pisos em altura), o ruído produzido no átrio afecta os utilizadores da sala de leitura. O efeito negativo é

Quadro 4.5 – Escala de valor para o critério isolamento/contiguidade do átrio ( $D_{\text{átrio}}$ ).

$D_{\text{átrio}}$	Cotação
Não existe qualquer ligação que permita a passagem do ruído do átrio/entrada para a sala de leitura	20
Não há contiguidade entre átrio/entrada e sala de leitura mas existe abertura que permite a passagem do ruído	10
Contiguidade entre átrio/entrada e sala de leitura em que a divisória tem isolamento sonoro satisfatório	8
Contiguidade entre átrio/entrada e sala de leitura em que a divisória não tem isolamento sonoro satisfatório	4
Integração do átrio/entrada na sala de leitura em regime de <i>open space</i>	0

indiscutível embora possa ser variável consoante a distância entre os dois espaços, o tipo de materiais existentes na ligação, etc. Logo, considera-se justa a atribuição da cotação intermédia (10 valores) a estes casos quando analisados de uma forma generalista. A existência de contiguidade entre os dois espaços cifra-se como sendo a pior situação, podendo distinguir-se a possibilidade de existir ou não um adequado isolamento sonoro. Assim, considerando o caso de haver isolamento sonoro satisfatório, não será uma situação muito mais grave do que a existência do “buraco” pelo que a cotação é de 8 valores. Havendo contiguidade entre o átrio e a sala de leitura e sendo insatisfatório o isolamento sonoro está-se perante uma situação mais grave, logo a cotação atribuída (4 valores) é a intermédia entre a classe anterior e a seguinte. A pior situação possível é a integração do átrio no mesmo espaço da sala de leitura em regime de *open space*, que tem a classificação de 0 valores.

#### 4.5.2.5. Índice de isolamento sonoro a ruídos de condução aérea entre salas contíguas, $D_{nT, w, \text{salas contíguas}}$

Para avaliar o isolamento sonoro entre salas contíguas é utilizado o parâmetro  $D_{nT, w, \text{salas contíguas}}$  (índice de isolamento sonoro a ruídos de condução aérea), cuja atribuição das cotações foi baseada nos valores regulamentares em vigor no RRAE. Assim, segundo o artigo 7.º, ponto 1, alínea b) do RRAE (Quadro II do seu anexo) quando o local de recepção é uma biblioteca o valor de  $D_{nT, w}$  não pode ser inferior a: 45 dB para salas de aula, de professores ou administrativas como locais de emissão; 58 dB para salas de aula musical, salas polivalentes, refeitórios, ginásios e oficinas como locais de emissão; 55 dB para berçários como locais de emissão; e 35 dB ou 50 dB para corredores de grande circulação consoante haja ou não porta de comunicação com o local receptor. Assim, podemos concluir que para locais de emissão com um grau elevado de ruído (refeitórios, berçários ou corredores de grande circulação) os valores do índice de isolamento sonoro ascendem à classe dos 50 dB. Como tal considera-se este (50 dB) como um valor bom (15 valores de cotação) neste critério, colocando a barreira dos 58 dB como o mínimo para a cotação excelente de 20 valores. Este valor é apoiado pelo disposto no artigo 5.º, ponto 1, alínea d) que indica os 58 dB como valor mínimo do índice de isolamento sonoro a ruídos de condução aérea,  $D_{nT, w}$ , entre locais do edifício destinados a comércio, indústria, serviços ou diversão, como locais emissores, e quartos ou zonas de estar dos fogos, como locais receptores, situação que se pode considerar comparável com o limite máximo a aplicar nas bibliotecas. Da mesma forma, admite-se que abaixo dos 35 dB de isolamento sonoro não são fornecidas as condições mínimas de conforto. Como valor intermédio da escala de valores opta-se pelos 45 dB visto que é o valor mínimo regulamentar para o isolamento sonoro entre bibliotecas e locais que não são muito ruidosos. As cotações entre os valores referidos foram atribuídas usando iterações lineares, obtendo a escala de valor exposta no quadro 4.6.

Quadro 4.6 – Escala de valor para o critério índice de isolamento sonoro a ruídos de condução aérea entre a sala de leitura e outras salas ou locais contíguos,  $D_{nT, w, \text{salas contíguas}}$ .

$D_{nT, w, \text{salas contíguas}}$ (dB)	Cotação
$\geq 58$	20
57	19
56	18
54	17
52	16

50	15
49	14
48	13
47	12
46	11
45	10
44	9
43	8
42	7
41	6
40	5
39	4
38	3
37	2
36	1
≤ 35	0

4.5.2.6. Índice de isolamento sonoro a ruídos de percussão,  $L'_{nT, w}$ , sendo a sala de leitura o local receptor

Relativamente ao parâmetro  $L'_{nT, w}$  as pontuações atribuídas tiveram, também, como base o disposto no RRAE. Assim, segundo o artigo 7.º, ponto 1, alínea c), nos edifícios escolares o valor de  $L'_{nT, w}$  nos locais receptores deve ser inferior ou igual a 60 dB se o local emissor for corredor de grande circulação, ginásio, refeitório ou oficina e inferior ou igual a 65 dB se o local emissor for salas de aulas, berçário, ou salas polivalentes. Segundo o artigo 5.º, ponto 1, alínea g) do RRAE, nos edifícios habitacionais e mistos o valor de  $L'_{nT, w}$  nos quartos ou zonas de estar como locais receptores deve ser inferior ou igual a 50 dB caso os ruídos de percussão sejam provenientes de uma percussão normalizada sobre pavimentos de locais do edifício destinados a comércio, indústria, serviços ou diversão, como locais emissores e não deve ser superior a 60 dB (artigo 5.º, ponto 1, alínea e) do RRAE) caso os locais emissores sejam pavimentos de outros fogos ou locais de circulação comum do edifício. Desta forma pode ser feita uma análise análoga à efectuada para o índice de isolamento sonoro a ruídos de condução aérea entre a sala de leitura e salas contíguas, salvaguardando contudo a maior negatividade que os ruídos de percussão têm relativamente aos ruídos aéreos devido à sua facilidade de propagação pela estrutura de todo o edifício. Deste modo, o valor máximo imposto pelo regulamento para edifícios habitacionais não terá cotação excelente de 20 valores, ficando nos 15 valores. Por outro lado e seguindo o mesmo raciocínio o valor de 60 dB obtém 5 valores de cotação, tendo os 65 dB a cotação de 0 valores. Como se pode ver pelo quadro 4.7 toda a escala segue uma iteração linear que leva o valor de 45 dB à classificação máxima de 20 valores.

Quadro 4.7 – Escala de valor para o critério índice de isolamento sonoro a ruídos de percussão sendo a sala de leitura o local receptor,  $L'_{nT,w}$ .

$L'_{nT,w}$ (dB)	Cotação
$\leq 45$	20
46	19
47	18
48	17
49	16
50	15
51	14
52	13
53	12
54	11
55	10
56	9
57	8
58	7
59	6
60	5
61	4
62	3
63	2
64	1
$\geq 65$	0

#### 4.5.2.7. Índice de isolamento sonoro a ruídos de condução aérea das paredes exteriores, $D_{2m,nT,w}$

Em relação ao parâmetro  $D_{2m,nT,w}$  as pontuações foram atribuídas através de iteração linear e considerações empíricas uma vez que o RRAE, segundo o artigo 5.º, ponto 1, alínea a) ou o artigo 7.º, ponto 1, alínea a), estabelece que este parâmetro deve ter valores superiores ou iguais a 33 dB em zonas mistas ou em determinadas zonas sensíveis e 28 dB nas restantes zonas sensíveis. Logo, atribui-se a cotação média de 10 valores aos 33 dB, sendo a restante escala definida por iteração linear com ressalva para as cotações mais elevadas que ao terem valores superiores aos previsíveis por iteração linear aumentam o grau de exigência requerido para obter notas excelentes. Assim se obtém a escala de valor definida para este critério patente no quadro 4.8.

Quadro 4.8 – Escala de valor para o critério índice de isolamento sonoro a ruídos de condução aérea do elemento em contacto com o exterior,  $D_{2m,nT,w}$ .

$D_{2m,nT,w}$ (dB)	Cotação
$\geq 43$	20
42	19
41	18
40	17
39	16
38	15
37	14
36	13
35	12
34	11
33	10
32	9
31	8
30	7
29	6
28	5
27	4
26	3
25	2
24	1
$\leq 23$	0

#### 4.5.2.8. Nível de avaliação do ruído particular de equipamentos do edifício, $L_{Ar}$

Apesar do parâmetro utilizado no algoritmo ser o nível de avaliação do ruído particular de equipamentos do edifício ( $L_{Ar}$ ), a definição da escala de valores deste parâmetro é feita com base no novo regulamento RRAE, admitindo a simplificação de um tempo de reverberação médio na sala ( $T$ ) de cerca de 0,5 s o que, de acordo com a expressão 3.19 (do parâmetro  $L_{Ar,nT}$ ), faz com que a correcção  $10 \cdot \log(T/T_0)$  seja cerca de zero. O parâmetro  $L_{Ar,nT}$  apresenta no RRAE uma diferença em relação aos restantes parâmetros. Isto porque se divide em duas categorias dependentes do tipo de funcionamento do equipamento: contínuo ou intermitente. Segundo o artigo 7.º, ponto 1, alínea f) (quadro IV do anexo do RRAE) o parâmetro  $L_{Ar,nT}$  em bibliotecas apresenta um valor máximo de 35 dB(A) se o funcionamento do equipamento for intermitente e 30 dB(A) se for contínuo. Analisando o artigo 5.º, ponto 1, alínea i) relativo a edifícios habitacionais este apresenta valores similares (respectivamente 32



dB(A) e 27 dB(A)). Fica clara a necessidade de fazer duas escalas para os diferentes tipos de funcionamento dos equipamentos. Assim, adotando o valor disposto no regulamento para o caso das bibliotecas como um valor razoável, os 10 valores da escala de valor deste critério são atribuídos aos 35 dB(A) para equipamentos com funcionamento intermitente e

Quadro 4.9 – Escala de valor para o critério nível de avaliação do ruído particular de equipamentos com funcionamento intermitente,  $L_{Ar, func. intermitente}$ , ou funcionamento contínuo,  $L_{Ar, func. contínuo}$ .

$L_{Ar, func. intermitente}$ (dB)	$L_{Ar, func. contínuo}$ (dB)	Cotação
$\leq 25$	$\leq 20$	20
26	21	19
27	22	18
28	23	17
29	24	16
30	25	15
31	26	14
32	27	13
33	28	12
34	29	11
35	30	10
[36 ; 37]	[31 ; 32]	9
[38 ; 39]	[33 ; 34]	8
[40 ; 41]	[35 ; 36]	7
[42 ; 44]	[37 ; 39]	6
[45 ; 47]	[40 ; 42]	5
[48 ; 50]	[43 ; 45]	4
[51 ; 53]	[46 ; 48]	3
[54 ; 56]	[49 ; 51]	2
[57 ; 59]	[52 ; 54]	1
$\geq 60$	$\geq 55$	0

(caso não esteja definido o tipo de funcionamento do equipamento, usar a escala de valor para equipamentos com funcionamento contínuo)

30 dB(A) para equipamentos com funcionamento contínuo. Os restantes valores da escala têm os valores presentes no quadro 4.9. Os valores de  $L_{Ar}$  a que correspondem classificações superiores a 10 valores seguem uma iteração linear enquanto os valores de  $L_{Ar}$  a que correspondem classificações inferiores são organizados por intervalos abrangendo assim uma gama mais elevada de valores. Caso não esteja definido o tipo de funcionamento do aparelho deve ser utilizada a escala para equipamentos com funcionamento contínuo visto apresentar um grau de exigência mais elevado.

#### 4.5.3. DETERMINAÇÃO DO ALGORITMO MULTI-CRITÉRIO

A determinação do algoritmo multi-critério para classificação da qualidade acústica das bibliotecas públicas segue a metodologia apresentada no subcapítulo 3.3.3.4. Como tal resta agora aplicar a importância relativa de cada critério (quadro 4.1) ao algoritmo que determinará o *Índice de Qualidade Acústica das Bibliotecas* (IQAB).

Independentemente da fonte dos ruídos perceptíveis na sala de leitura de uma biblioteca pública, cabe à reverberância da sala da sala um papel de destaque neste estudo uma vez que o tempo de reverberação dita o maior ou menor tempo de permanência dos ruídos na sala, tendo influência sobre todos os tipos de ruído. Assim, devido à elevada relevância, opta-se por atribuir ao tempo de reverberação uma importância relativa de 40%. Este valor foi atribuído de modo subjectivo visto que a análise dos questionários não permite a quantificação deste valor. Contudo, quando comparado com os restantes elementos, considera-se que o tempo de reverberação tem uma importância bastante superior devido à influência que tem sobre os restantes.

Remanesce assim uma percentagem de 60% para os restantes critérios. Os restantes critérios foram abordados na análise aos resultados do questionário, da qual se obteve a seguinte distribuição da importância das categorias de ruído de acordo com a opinião dos funcionários das bibliotecas: 25% para o ruído proveniente do átrio/entrada, 25% para o ruído de conversação dentro da própria sala, 20% para o ruído proveniente de outras salas ou locais contíguos, 15% para os ruídos de percussão, 10% para o ruído proveniente do exterior e 5% para o ruído dos equipamentos. Importa agora analisar estes valores antes de os aplicar directamente no algoritmo em desenvolvimento. A interpretação destes resultados deve ser enquadrada na realidade presente, isto é, no contexto das bibliotecas. Desta forma, e apesar da distribuição da importância que resulta do questionário, considera-se que se deve valorizar em termos de *peso* para o algoritmo as categorias de ruído que, numa análise subjectiva e sem ter em conta o questionário efectuado, mais influenciam o ruído no interior da sala de leitura, isto é, os ruídos produzidos no interior dessa sala, que são representados pelas categorias *ruído de conversação dentro da própria sala*, *ruídos de percussão* e *ruído dos equipamentos*. Assim, tendo em conta estes dois factores (conclusões do questionário e enquadramento no contexto das bibliotecas) é realizada uma nova distribuição da percentagem de importância de cada categoria de ruído. As duas categorias com maior *peso* são o *ruído proveniente do átrio/entrada* e o *ruído de conversação dentro da própria sala de leitura*, que em conjunto têm 50% da importância relativa de todas as categorias. Face ao anteriormente referido, será recomendável “desfazer” a igualdade de importância entre as duas categorias, passando desta forma o *ruído de conversação dentro da própria sala de leitura* a ter 30% de importância relativa enquanto o *ruído proveniente do átrio/entrada* passa a ter 20%, verificando-se assim uma descida da sua importância em oposição à subida da primeira categoria referida. Quanto aos restantes critérios, verifica-se uma situação antagónica em relação à importância que um ruído produzido no interior da sala de leitura deve ter face aos ruídos provenientes da sua envolvente, que é protagonizada pelas categorias *ruído proveniente de outras salas ou locais contíguos* (20%) e *ruído dos equipamentos* (5%). A mesma situação pode ser considerada para os duos “*ruído proveniente de outras salas ou locais contíguos vs ruído de percussão*” e “*ruído do exterior vs ruído dos equipamentos*”, porém, uma vez que o *ruído de percussão* (15%) apresenta uma percentagem superior à do *ruído do exterior* (10%) entende-se que estas categorias devem manter esta posição relativa em termos de percentagens, sendo a alteração dos *pesos* efectuada nas categorias que apresentam claramente valores contrários ao que seria de esperar se apenas se realizasse a análise “ruídos

produzidos no interior da sala de leitura vs ruídos produzidos na envolvente da sala de leitura”. Consequentemente, surge a necessidade de alterar a importância relativa da categoria *ruído proveniente de outras salas ou locais contíguos* que deve ver a sua percentagem diminuída em prol de um acréscimo da percentagem da categoria *ruído dos equipamentos*. Assim, e uma vez que a análise do questionário não deve ser desvalorizada, opta-se por atribuir a cotação de 15% ao ruído de percussão, 12,5% ao ruído dos equipamentos, 12,5% ao ruído proveniente de salas ou locais contíguos e 10% ao ruído do exterior. Desta forma é possível conciliar o enquadramento na realidade das bibliotecas com a importância relativa entre as categorias do mesmo tipo obtidas através do questionário, isto é, os “ruídos produzidos no interior da sala de leitura” têm importância superior (ou pelo menos igual) aos ruídos produzidos na envolvente e dentro do grupo de ruídos produzidos no interior da sala de leitura a categoria *ruído de percussão* mantém a superioridade face à categoria *ruído dos equipamento*, tal como a categoria *ruído proveniente de outras salas ou locais contíguos* mantém a superioridade face à categoria *ruído do exterior* nos “ruídos produzidos na envolvente”. Como se verifica na definição das escalas de valor, o ruído proveniente do átrio/entrada foi dividido em duas subcategorias, que pela relação que têm entre elas dividem a importância relativa deste critério em partes iguais. Obtém-se assim os pesos de cada critério indicados no quadro 4.10.

Quadro 4.10 – Peso de cada critério do algoritmo.

Critério	Peso (%)
$T_R$	40
RASTI	18
$L'_{nT,w}$	9
$L_{Ar}$	7,5
$D_{nT,w,salas\ contíguas}$	7,5
$A_{átrio}$	6
$D_{átrio}$	6
$D_{2m,nT,w}$	6

Assim, a fórmula de *IQAB* ( $a_i$ ) respeitante a cada biblioteca pública é uma função que avalia o valor de cada alternativa ( $a_i$ ) relativamente à qualidade acústica apresentada através da equação:

$$IQAB(a_i) = W_{T_R} \times C_{T_R} + W_O \times C_O \quad (4.1)$$

sendo “o” a designação para os “outros” critérios ( $C$ ) e  $W_j$  o peso do  $j$ -ésimo critério da alternativa  $i$ . As transformações acima apresentadas, das quais a fórmula foi alvo, resultam no seguinte:

$$IQAB(a_i) = W_{T_R} \times C_{T_R} + W_O \times [W_{RASTI} \times C_{RASTI} + W_{L'_{nT,w}} \times C_{L'_{nT,w}} + W_{L_{Ar}} \times C_{L_{Ar}} + W_{D_{nT,w,salas\ contíguas}} \times C_{D_{nT,w,salas\ contíguas}} + W_{átrio} \times C_{átrio} + W_{D_{2m,nT,w}} \times C_{D_{2m,nT,w}}] \quad (4.2)$$

que se transforma em:

$$IQAB(a_i) = W_{T_R} \times C_{T_R} + W_0 \times [W_{RASTI} \times C_{RASTI} + W_{L'_{nT,w}} \times C_{L'_{nT,w}} + W_{L_{Ar}} \times C_{L_{Ar}} + W_{D_{nT,w,salas contíguas}} \times C_{D_{nT,w,salas contíguas}} + W_{átrio} \times (W_{A_{átrio}} \times C_{A_{átrio}} + W_{D_{átrio}} \times C_{D_{átrio}}) + W_{D_{2m,nT,w}} \times C_{D_{2m,nT,w}}] \quad (4.3)$$

a qual após permuta dos  $W_j$  pelos respectivos valores do quadro 4.1 se transforma na fórmula final de  $IQAB(a_i)$ :

$$IQAB(a_i) = 0,40 \times C_{T_R} + 0,60 \times [0,30 \times C_{RASTI} + 0,15 \times C_{L'_{nT,w}} + 0,125 \times C_{L_{Ar}} + 0,125 \times C_{D_{nT,w,salas}} + 0,20 \times (0,50 \times C_A + 0,50 \times C_D) + 0,10 \times C_{D_{2m,nT,w}}] \quad (4.4)$$

ou seja,

$$IQAB(a_i) = 0,40 \times C_{T_R} + 0,18 \times C_{RASTI} + 0,09 \times C_{L'_{nT,w}} + 0,075 \times C_{L_{Ar}} + 0,075 \times C_{D_{nT,w,salas}} + 0,06 \times C_A + 0,06 \times C_D + 0,06 \times C_{D_{2m,nT,w}} \quad (4.5)$$

Pela equação 4.5 pode-se verificar o peso real de cada um dos critérios na definição do  $IQAB$  de cada alternativa. Assim, o critério tempo de reverberação mantém a maior importância relativa, com 40%, seguido do critério RASTI com 18% e o índice de isolamento sonoro a ruídos de percussão com 9% de importância relativa. O nível de avaliação do ruído particular de equipamentos do edifício tem 7,5% de importância relativa tal como o índice de isolamento sonoro a ruídos de condução aérea entre a sala de leitura e outras salas ou locais contíguos. Os restantes critérios (absorção sonora do átrio, isolamento/contiguidade do átrio e índice de isolamento a ruídos de condução aérea das paredes exteriores) têm, cada um, uma importância relativa de 6%. De salientar que a importância relativa do ruído proveniente do átrio/entrada (12%) se mantém superior à do ruído proveniente de salas ou locais contíguos (7,5%), com a diferença de estar dividido em dois subcritérios.

Através da análise aos valores fornecidos pelo trabalho de A. Costa (2009) [3] (Quadro 5.2) é possível verificar a inexistência de alguns valores do parâmetro  $L_{Ar}$  (nível de avaliação do ruído particular de equipamentos do edifício). Este facto deve-se ou há ausência deste tipo de equipamentos, em algumas das bibliotecas alvo das medições, por serem antigas e não terem equipamentos de ventilação/aquecimento, ou há existência de problemas técnicos que impedem o funcionamento dos equipamentos. Posto isto, impõe-se a alteração da fórmula de  $IQAB$  para considerar a possível inexistência deste parâmetro nalgumas bibliotecas. A eliminação do critério  $C_{L_{Ar}}$  origina uma redistribuição dos pesos pelos restantes critérios, que será realizada através da distribuição uniforme do peso deste critério pelos restantes através do produto do peso de cada critério pelo factor 1,08108. Assim sendo, a fórmula alternativa de  $IQAB$  adquire a seguinte forma:

$$IQAB_{(sem L_{Ar})}(a_i) = 0,432 \times C_{T_R} + 0,195 \times C_{RASTI} + 0,097 \times C_{L'_{nT,w}} + 0,081 \times C_{D_{nT,w,salas}} + 0,065 \times C_A + 0,065 \times C_D + 0,065 \times C_{D_{2m,nT,w}} \quad (4.6)$$

Definiu-se uma tabela de conversão dos valores calculados para o *Índice de Qualidade Acústica das Bibliotecas* ( $IQAB$ ) numa escala subjectiva de interpretação dos resultados obtidos (quadro 4.11).

Quadro 4.11 – Escala subjectiva de conversão dos valores do IQAB obtidos.

Interpretação	IQAB
Excelente	[17 ; 20]
Bom	[13 ; 17[
Suficiente	[10 ; 13[
Medíocre	[7 ; 10[
Mau	[3 ; 7[
Péssimo	[0 ; 3[



# 5

## APLICAÇÃO DO ALGORITMO MULTI-CRITÉRIO

### 5.1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo procede-se à aplicação do algoritmo multi-critério proposto de forma a testar a sua viabilidade numa amostra. É feita uma caracterização da amostra seguida da sua aplicação ao método através de três abordagens diferentes. Procede-se ainda à análise dos resultados versando diversos pontos de vista.

### 5.2. CARACTERIZAÇÃO DA AMOSTRA

Como havia sido referido, a amostra é retirada da tese de mestrado “Caracterização Acústica de Bibliotecas em Portugal e Análise de Influência na Reabilitação Acústica” do Eng.º A. Costa (2009) [3] relativa à medição de parâmetros acústicos objectivos em 25 bibliotecas públicas. Destas 25 bibliotecas apenas 9 (36%) coincidem com as bibliotecas que responderam ao questionário desenvolvido neste trabalho, que são as bibliotecas municipais de Castro Verde, Figueiró dos Vinhos, Matosinhos, Santa Maria da Feira, Sesimbra, Vila do Conde, Vila Nova de Gaia, Viseu e a biblioteca da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP).

Os parâmetros acústicos objectivos medidos na tese de A. Costa (2009) [3] são o tempo de reverberação ( $T_R$ ), o RASTI e o nível de avaliação do ruído particular de equipamentos do edifício ( $L_{Ae}$ ). Os valores aí obtidos são usados na aplicação do algoritmo multi-critério e estão apresentados no quadro 5.1, onde são também indicadas as bibliotecas alvo desse trabalho e os números pelas quais serão identificadas.

No quadro 5.2 pode-se observar a normalização dos valores destes critérios conforme as respectivas escalas de valor (0 – 20) definidas no capítulo anterior, e que são usadas no algoritmo. Como se verifica no mesmo quadro (quadro 5.2), em algumas bibliotecas não estão disponíveis os valores de  $L_{Ae}$ . Assim, nos casos em que ocorra esta situação, utiliza-se a fórmula de *IQAB* desenvolvida para o efeito (expressão 4.6).

Quadro 5.1 – Listagem das bibliotecas e respectivos valores médios dos parâmetros acústicos objectivos medidos.

Biblioteca (Localidade)	N.º de identificação da biblioteca	$T_R$ (s) [(500+1k+2k)/3 Hz]	RASTI	$L_{Ar}$ (dB) (funcion. contínuo)
Central Palácio Galveias (Lisboa)	1	1,2	0,61	48
FEUP (Porto)	2	1,2	0,67	44
Geral da Universidade de Coimbra	3	3,3	0,40	-
Municipal Almeida Garrett (Porto)	4	1,3	0,59	-
Municipal de Alverca do Ribatejo	5	0,5	0,74	43
Municipal de Campo Maior	6	1,4	0,63	55
Municipal de Castro Verde	7	0,8	0,66	56
Municipal de Évora	8	1,3	0,60	-
Municipal de Figueiró dos Vinhos	9	0,8	0,68	43
Municipal de Gondomar	10	1,5	0,62	41
Municipal de Matosinhos	11	1,1	0,70	39
Municipal de Monforte	12	1,3	0,64	-
Municipal de Oliveira de Azeméis	13	1,4	0,57	37
Municipal de Oliveira do Bairro	14	1,3	0,59	-
Municipal de Santiago do Cacém	15	1,2	0,64	44
Municipal de Santo Tirso	16	1,5	0,54	39
Municipal de Sesimbra	17	1,5	0,64	39
Municipal de Viana do Castelo	18	1,2	0,58	37
Municipal de Santa Maria da Feira	19	1,9	0,53	48
Municipal de Vila do Conde	20	1,1	0,61	-
Municipal de Vila Nova de Gaia	21	0,5	0,76	39
Municipal de Vila Real	22	0,8	0,70	45
Municipal de Viseu	23	1,7	0,52	41
Nacional (Lisboa)	24	2,0	0,52	48
Pública de Braga	25	1,0	0,62	46
Valores Médios	-	1,3	0,61	44



Quadro 5.2 – Valores médios e valores normalizados (C) dos critérios disponíveis na amostra.

N.º de identificação da biblioteca	$T_R$ (s) [500, 1k, 2k] Hz	$C_{T_R}$ (0 – 20)	RASTI	$C_{RASTI}$ (0 – 20)	$L_{Ar}$ (dB) (funcion. contínuo)	$C_{L_{Ar}}$ (0 – 20)
1	1,2	7	0,61	7	48	3
2	1,2	7	0,67	6	44	4
3	3,3	0	0,40	12	-	-
4	1,3	7	0,59	8	-	-
5	0,5	19	0,74	5	43	4
6	1,4	5	0,63	7	55	0
7	0,8	15	0,66	6	56	0
8	1,3	7	0,60	7	-	-
9	0,8	15	0,68	6	43	4
10	1,5	5	0,62	7	41	5
11	1,1	9	0,70	5	39	6
12	1,3	7	0,64	7	-	-
13	1,4	5	0,57	8	37	6
14	1,3	7	0,59	8	-	-
15	1,2	7	0,64	7	44	4
16	1,5	5	0,54	9	39	6
17	1,5	5	0,64	7	39	6
18	1,2	7	0,58	8	37	6
19	1,9	1	0,53	9	48	3
20	1,1	9	0,61	7	-	-
21	0,5	19	0,76	4	39	6
22	0,8	15	0,70	5	45	4
23	1,7	3	0,52	9	41	5
24	2,0	0	0,52	9	48	3
25	1,0	9	0,62	7	46	3
Valores Médios	1,3	8	0,61	7	44	4

### 5.3. APLICAÇÃO DO MÉTODO

#### 5.3.1. INTRODUÇÃO ÀS ABORDAGENS UTILIZADAS NA APLICAÇÃO DO MÉTODO

A amostra disponível contempla valores numéricos (medidos) para apenas três dos oito critérios utilizados no algoritmo proposto. Apesar de, em conjunto, estes três critérios terem um peso significativo (65,5%), a indisponibilidade dos valores dos restantes critérios obriga à atribuição, para esses critérios, de valores iguais para todas as salas que sejam “irrelevantes” para a nota final e intercomparação entre salas. Assim, opta-se por realizar três abordagens (I, II e III) destes valores a arbitrar: o uso de valores intermédios da escala de valor (10 valores) em todos os critérios ou o uso de valores regulamentares mínimos (RRAE) [15] nos critérios em que haja esta possibilidade de aplicação. Porém, como se verifica em 5.3.3, esta última análise não seria vantajosa visto que apenas alteraria a cotação de um dos parâmetros ( $L'_{nT,w}$ ). Assim, optou-se por fazer uma terceira análise baseada nos requisitos impostos pelo documento produzido pela Direcção-Geral do Livros e das Bibliotecas (DGLB), intitulado “Requisitos de Condicionamento Acústico” [27], que possibilita uma análise que se julga mais aproximada do requerido aquando da execução de uma biblioteca.

#### 5.3.2. ABORDAGEM I – APLICAÇÃO DO MÉTODO COM INCLUSÃO DE VALORES INTERMÉDIOS NEUTRAIS

Neste caso, todos os critérios não definidos pela amostra usada terão uma cotação de 10 valores. Assim, por aplicação da fórmula 4.5 (ou 4.6 quando a amostra não inclui o parâmetro  $L_{Ar}$ ) do Índice de Qualidade Acústica das Bibliotecas Públicas obtêm-se os valores do *IQAB* para as bibliotecas da amostra são os visíveis no quadro 5.3.

Quadro 5.3 – Valores dos oito critérios e classificação do IQAB das bibliotecas da amostra através da Abordagem I (com inclusão de valores intermédios neutrais – 10 valores).

N.º de identificação da biblioteca	$C_{TR}$	$C_{A_{\text{átrio}}}$ *	$C_D$ *	$C_{RASTI}$	$C_{D_{nT,w,salas\ contíguas}}$ *	$C_{L'_{nT,w}}$ *	$C_{D_{2m,nT,w}}$ *	$C_{L_{Ar}}$	<i>IQAB</i> I
1	7	10	10	7	10	10	10	3	7,7
2	7	10	10	6	10	10	10	4	7,6
3	0	10	10	12	10	10	10	-	6,1
4	7	10	10	8	10	10	10	-	8,3
5	19	10	10	5	10	10	10	4	12,3
6	5	10	10	7	10	10	10	0	6,7
7	15	10	10	6	10	10	10	0	10,5
8	7	10	10	7	10	10	10	-	8,1
9	15	10	10	6	10	10	10	4	10,8
10	5	10	10	7	10	10	10	5	7,1
11	9	10	10	5	10	10	10	6	8,4
12	7	10	10	7	10	10	10	-	8,1
13	5	10	10	8	10	10	10	6	7,3

14	7	10	10	8	10	10	10	-	8,3
15	7	10	10	7	10	10	10	4	7,8
16	5	10	10	9	10	10	10	6	7,5
17	5	10	10	7	10	10	10	6	7,2
18	7	10	10	8	10	10	10	6	8,1
19	1	10	10	9	10	10	10	3	5,7
20	9	10	10	7	10	10	10	-	9,0
21	19	10	10	4	10	10	10	6	12,2
22	15	10	10	5	10	10	10	4	10,7
23	3	10	10	9	10	10	10	5	6,6
24	0	10	10	9	10	10	10	3	5,3
25	9	10	10	7	10	10	10	3	8,5
Valores Médios	8	10	10	7	10	10	10	4	8,2

\* - Arbitrado 10 neutral.

### 5.3.3. ABORDAGEM II – APLICAÇÃO DO MÉTODO COM VALORES REGULAMENTARES (RRAE)

Nesta abordagem opta-se por definir como valores dos parâmetros não disponíveis o valor mínimo permitido pelo regulamento (RRAE) [15], procedendo de seguida à sua conversão para cotação de critério. Dos cinco critérios por definir, ao critério isolamento/contiguidade do átrio não são aplicáveis valores regulamentares logo mantém os 10 valores da abordagem anterior. Para os restantes critérios,  $A_{\text{átrio}}$ ,  $D_{nT, w, \text{salas contíguas}}$ ,  $L'_{nT, w}$ , e  $D_{2m, nT, w}$  serão, respectivamente, atribuídos os valores de 25% da área do pavimento, 45 dB, 63 dB (média dos 60 e 65 dB – ver 4.5.2.6) e 33 dB, considerando quando necessário que os locais emissores são salas de aula. Estes valores fazem com que os critérios  $A_{\text{átrio}}$ ,  $D_{nT, w, \text{salas contíguas}}$  e  $D_{2m, nT, w}$  sejam cotados com 10 valores e o critério  $L'_{nT, w}$  com 2 valores. Desde logo se verifica que esta abordagem não terá o interesse expectável visto que apenas um dos critérios tem a sua cotação diferente da primeira abordagem. Devido à recente entrada em vigor deste novo RRAE poderia ser necessário utilizar os valores regulamentares anteriormente em vigor, visto que seriam os que teriam que ser cumpridos à data de construção das bibliotecas da amostra. Contudo, uma vez que relativamente aos parâmetros em causa os valores permaneceram quase inalterados do anterior para o actual regulamento (embora os parâmetros tenham sido mudados), é quase indiferente a escolha por um ou outro regulamento. Assim, obtêm-se os valores do Índice de Qualidade Acústica das Bibliotecas presentes no quadro 5.4 após aplicação da fórmula 4.5 (ou 4.6 quando a amostra não inclui o parâmetro  $L_{Ar}$ ) sobre os valores dos critérios.

Quadro 5.4 – Valores dos oito critérios e classificação do IQAB das bibliotecas da amostra através da Abordagem II (com valores regulamentares – RRAE [15]).

N.º de identificação da biblioteca	$C_{TR}$	$C_{A_{\text{átrio}}}$ #	$C_D$ *	$C_{RASTI}$	$C_{D_{nT,w,salas\ contíguas}}$ #	$C_{L'_{nT,w}}$ #	$C_{D_{2m,nT,w}}$ #	$C_{LAr}$	<i>IQAB</i> II
1	7	10	10	7	10	2	10	3	7,0
2	7	10	10	6	10	2	10	4	6,9
3	0	10	10	12	10	2	10	-	5,3
4	7	10	10	8	10	2	10	-	7,5
5	19	10	10	5	10	2	10	4	11,5
6	5	10	10	7	10	2	10	0	6,0
7	15	10	10	6	10	2	10	0	9,8
8	7	10	10	7	10	2	10	-	7,3
9	15	10	10	6	10	2	10	4	10,1
10	5	10	10	7	10	2	10	5	6,4
11	9	10	10	5	10	2	10	6	7,7
12	7	10	10	7	10	2	10	-	7,3
13	5	10	10	8	10	2	10	6	6,6
14	7	10	10	8	10	2	10	-	7,5
15	7	10	10	7	10	2	10	4	7,1
16	5	10	10	9	10	2	10	6	6,8
17	5	10	10	7	10	2	10	6	6,4
18	7	10	10	8	10	2	10	6	7,4
19	1	10	10	9	10	2	10	3	5,0
20	9	10	10	7	10	2	10	-	8,2
21	19	10	10	4	10	2	10	6	11,5
22	15	10	10	5	10	2	10	4	9,9
23	3	10	10	9	10	2	10	5	5,9
24	0	10	10	9	10	2	10	3	4,6
25	9	10	10	7	10	2	10	3	7,8
Valores Médios	8	10	10	7	10	2	10	4	7,5

\* - Arbitrado 10 neutral.

# - Arbitrado valor limite do RRAE.

### 5.3.4. ABORDAGEM III – APLICAÇÃO DO MÉTODO COM VALORES DE “REQUISITOS DE CONDICIONAMENTO ACÚSTICO” – DGLB

Quadro 5.5 – Valores dos oito critérios e classificação do IQAB das bibliotecas da amostra, através da Abordagem III (com valores de “Requisitos de Condicionamento Acústico” – DGLB [27]).

N.º de identificação da biblioteca	$C_{TR}$	$C_{A\acute{a}trio}$ #	$C_D$ *	$C_{RASTI}$	$C_{D_{nT,w,salas\ cont\acute{g}uas}}$ #	$C_{L'_{nT,w}}$ #	$C_{D_{2m,nT,w}}$ #	$C_{LAr}$	<i>IQAB</i> III
1	7	15	10	7	15	5	7	3	7,8
2	7	15	10	6	15	5	7	4	7,7
3	0	15	10	12	15	5	7	-	6,1
4	7	15	10	8	15	5	7	-	8,4
5	19	15	10	5	15	5	7	4	12,3
6	5	15	10	7	15	5	7	0	6,8
7	15	15	10	6	15	5	7	0	10,6
8	7	15	10	7	15	5	7	-	8,2
9	15	15	10	6	15	5	7	4	10,9
10	5	15	10	7	15	5	7	5	7,1
11	9	15	10	5	15	5	7	6	8,4
12	7	15	10	7	15	5	7	-	8,2
13	5	15	10	8	15	5	7	6	7,4
14	7	15	10	8	15	5	7	-	8,4
15	7	15	10	7	15	5	7	4	7,9
16	5	15	10	9	15	5	7	6	7,6
17	5	15	10	7	15	5	7	6	7,2
18	7	15	10	8	15	5	7	6	8,2
19	1	15	10	9	15	5	7	3	5,7
20	9	15	10	7	15	5	7	-	9,0
21	19	15	10	4	15	5	7	6	12,3
22	15	15	10	5	15	5	7	4	10,7
23	3	15	10	9	15	5	7	5	6,7
24	0	15	10	9	15	5	7	3	5,3
25	9	15	10	7	15	5	7	3	8,6
Valores Médios	8	15	10	7	15	5	7	4	8,3

\* - Arbitrado 10 neutral.

# - Arbitrado valor limite do documento “Requisitos de Condicionamento Acústico” da DGLB.

Nesta abordagem os valores dos critérios para os parâmetros não disponíveis na amostra de 25 salas, foram definidos tendo por base o imposto pelo documento “Requisitos de Condicionamento Acústico” elaborado pela DGLB [27]. Este documento está dividido consoante o tipo de secções em que se pode dividir uma biblioteca, mas para uma análise mais simples adopta-se apenas os valores sugeridos para a secção de adultos e a absorção sonora do átrio.

O critério isolamento/contiguidade do átrio mantém a cotação de 10 valores visto não estar definido neste documento de acordo com o exposto no quadro 4.4. Os critérios  $T_R$ , RASTI e  $L_{Ar}$  obedecem aos valores da amostra. Assim, os parâmetros que tomam os valores do referido documento são: o  $A_{\text{átrio}}$ , com valor da área de absorção sonora equivalente igual a 60% da área do pavimento, obtendo a nota de 15 valores; o  $D_{nT, w, \text{salas contíguas}}$ , com valor mínimo de 50 dB que corresponde a 15 valores de cotação; o  $L'_{nT, w}$ , que apresenta uma cotação de 5 valores derivada do valor máximo imposto de 60 dB; e o  $D_{2m, nT, w}$  com o mínimo de 30 dB a conduzir a uma cotação de 7 valores. Desta forma, após aplicação da equação 4.5 (ou 4.6 quando a amostra não inclui o parâmetro  $L_{Ar}$ ) para determinação do *IQAB*, obtêm-se as cotações do quadro 5.5.

## 5.4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

### 5.4.1. APRESENTAÇÃO DAS ANÁLISES A EFECTUAR

Os resultados da aplicação do algoritmo multi-critério para classificação da qualidade acústica das bibliotecas através do índice *IQAB* são agora analisados sob vários pontos de vista. Após uma comparação inicial entre as três abordagens efectuadas (I, II e III), as restantes análises (análise das melhores e piores classificações, dos valores dos parâmetros dados pela amostra, das bibliotecas que estão simultaneamente na amostra e no questionário e da variabilidade dos valores de *IQAB*) utilizam os valores de *IQAB* obtidos pela abordagem I (com valores intermédios neutrais – 10 valores).

### 5.4.2. COMPARAÇÃO ENTRE AS TRÊS ABORDAGENS

As classificações do *Índice de Qualidade Acústica das Bibliotecas (IQAB)* das três abordagens (I, II e III) estão expressas no quadro 5.6, cujos valores podem ser facilmente comparados na figura 5.1. Daqui pode concluir-se que caso se cumpram os requisitos de condicionamento acústico definidos pela DGLB [27] obter-se-á ou uma classificação ligeiramente superior à verificada nas restantes condições, ou, em algumas bibliotecas, uma classificação igual à obtida na abordagem I (apesar desta ser uma “fraca” comparação visto não se ter disponíveis as medições de todos os parâmetros). Verifica-se ainda que as notas de *IQAB* da abordagem III, em que se utilizam os valores definidos pelo documento da DGLB [27], são iguais ou em média cerca de 0,1 valores superiores às dos valores intermédios (I). Por seu turno os valores deste índice obtidos pela análise com valores intermédios (I) são cerca de 0,8 valores superiores aos obtidos pela análise com valores regulamentares (II). Assim pode constatar-se que ao cumprir os valores impostos pelo documento da DGLB (“Requisitos de Condicionamento Acústico” [27]), em detrimento dos valores regulamentares, se está a melhorar a classificação da biblioteca no índice *IQAB* em cerca de 0,8 valores. A ausência dos valores dos cinco critérios indisponíveis pode justificar a baixa variabilidade dos valores obtidos pelas bibliotecas no *IQAB*, comprovada pelo valor reduzido (1,8 valores) e igual do desvio-padrão, para as três abordagens. A abordagem I, com os valores neutrais dos critérios, é a mais adequada para as restantes análises aos valores obtidos.

Quadro 5.6 – Classificações IQAB das três abordagens (I, II e III).

Biblioteca	IQAB Abordagem I	IQAB Abordagem II	IQAB Abordagem III
1	7,7	7,0	7,8
2	7,6	6,9	7,7
3	6,1	5,3	6,1
4	8,3	7,5	8,4
5	12,3	11,5	12,3
6	6,7	6,0	6,8
7	10,5	9,8	10,6
8	8,1	7,3	8,2
9	10,8	10,1	10,9
10	7,1	6,4	7,1
11	8,4	7,7	8,4
12	8,1	7,3	8,2
13	7,3	6,6	7,4
14	8,3	7,5	8,4
15	7,8	7,1	7,9
16	7,5	6,8	7,6
17	7,2	6,4	7,2
18	8,1	7,4	8,2
19	5,7	5,0	5,7
20	9,0	8,2	9,0
21	12,2	11,5	12,3
22	10,7	9,9	10,7
23	6,6	5,9	6,7
24	5,3	4,6	5,3
25	8,5	7,8	8,6
Valores Médios	8,2	7,5	8,3
Desvio-Padrão	1,8	1,8	1,8

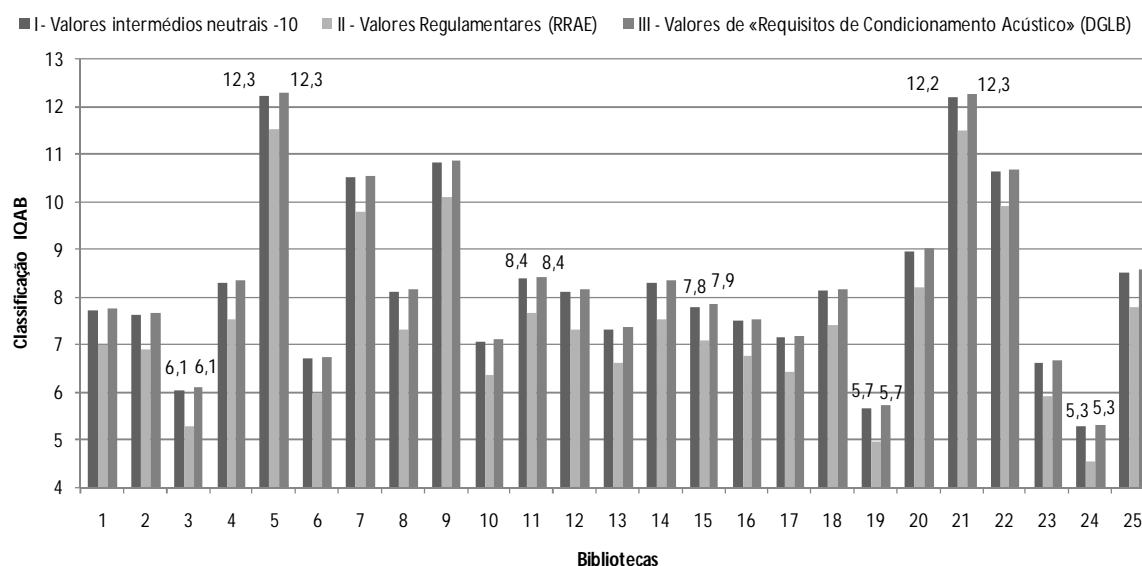


Figura 5.1 – Classificações IQAB das três abordagens (I, II e III).

#### 5.4.3. ANÁLISE DA MELHOR E PIOR CLASSIFICAÇÕES

Pela figura 5.1 (ou pelo quadro 5.6) pode-se distinguir quais as melhores e piores classificações do índice *IQAB* (neste caso analisada somente a abordagem I com valores intermédios neutrais). Nas melhores classificações com cerca de 12 valores ficaram a Biblioteca Municipal de Alverca do Ribatejo (5) e a Biblioteca Municipal de Vila Nova de Gaia (21). Pela análise das cotações dos critérios verifica-se que esta nota se deve à excelente cotação (19 valores) obtida no critério  $C_{TR}$  (com  $T_R$  de 0,5 segundos). De notar que esta relação entre a nota final de *IQAB* e as cotações dos critérios não é totalmente idónea uma vez que cinco dos oito critérios que compõem o algoritmo (tendo um peso de 34,5%) não estão disponíveis na amostra.

Quanto às piores notas globais estas verificam-se na Biblioteca Nacional (Lisboa) (24), com cerca de 5 valores e na Biblioteca Geral da Universidade de Coimbra (3) e na Biblioteca Municipal de Santa Maria da Feira (19) com cerca de 6 valores do *IQAB*. Analisando os valores dos seus critérios atesta-se mais uma vez a preponderância do critério tempo de reverberação face aos restantes. Isto porque se constata que estes três casos são os que obtêm pior nota no critério  $C_{TR}$  (0 e 1 valores com  $T_R$  de, respectivamente, 2,0, 3,3 e 1,9 segundos), o que influencia a descida abrupta da nota de *IQAB* apesar de terem dos melhores resultados obtidos para o critério RASTI. Mais uma vez verifica-se que apesar das boas notas noutros parâmetros não é possível ter consciência do real e absoluto valor de uma biblioteca em termos acústicos devido à falta dos valores dos critérios que não são abrangidos pela amostra disponível (embora 65,5% dos pesos estejam disponíveis).

#### 5.4.4. VARIABILIDADE DOS VALORES DE *IQAB*

Uma análise estatística aos valores obtidos para o *IQAB* nesta abordagem conduz à conclusão de que, segundo a escala de conversão definida no quadro 4.9, a maioria das bibliotecas apresenta *más* condições acústicas, com uma mediana dos valores de *IQAB* de 8,3. Isto porque, como se verifica no quadro 5.6, 60% das bibliotecas tem uma classificação do *IQAB* correspondente à nota “medíocre”, às quais se juntam 20% com nota “má”. Saliente-se o facto da melhor nota apresentar apenas a



classificação de “suficiente”, o que de certa forma é agravado pela análise do panorama geral apresentada pela figura 5.2 em que se constata que 80% das bibliotecas da amostra têm “mediócras” ou “más” condições acústicas. Apesar das fracas classificações obtidas pelas bibliotecas convém salientar a falta dos valores de cinco parâmetros, correspondentes a 34,5% do *peso* da nota do IQAB. Caso os parâmetros em falta tenham valores muito diferentes dos arbitrados, a alteração da cotação dos respectivos critérios pode originar alguma diferença na nota do *IQAB*. Perante estas condições, tanto esta como as restantes análises devem ser lidas tendo em conta este aspecto de importância significativa.

Quadro 5.7 – Quadro resumo da análise estatística dos valores obtidos pela Abordagem I (valores intermédios neutrais).

Parâmetros Estatísticos	Valores IQAB I
Valor Mínimo	5,6
Média	8,5
Mediana	8,3
Valor Máximo	12,7
Desvio-Padrão	1,8

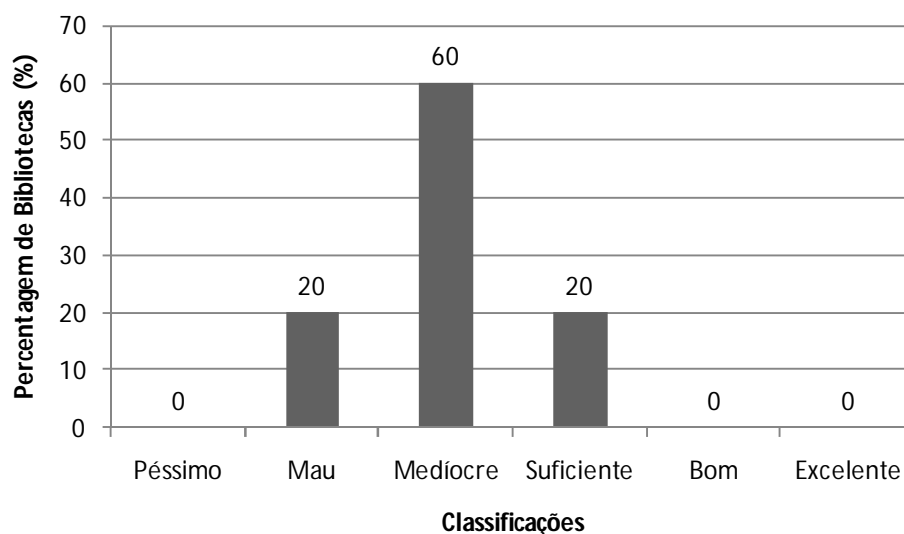


Figura 5.2 – Histograma das classificações subjectivas de *IQAB*.

#### 5.4.5. ANÁLISE DOS VALORES DE $T_R$ , RASTI E $L_{AR}$

As figuras 5.3, 5.4 e 5.5 mostram os histogramas dos critérios  $T_R$ , RASTI e  $L_{AR}$ , respectivamente. Daqui pode concluir-se que apesar da maioria dos resultados destes critérios serem negativos, é o critério  $T_R$  o que apresenta melhores classificações e maior número de elementos da amostra com cotação positiva.

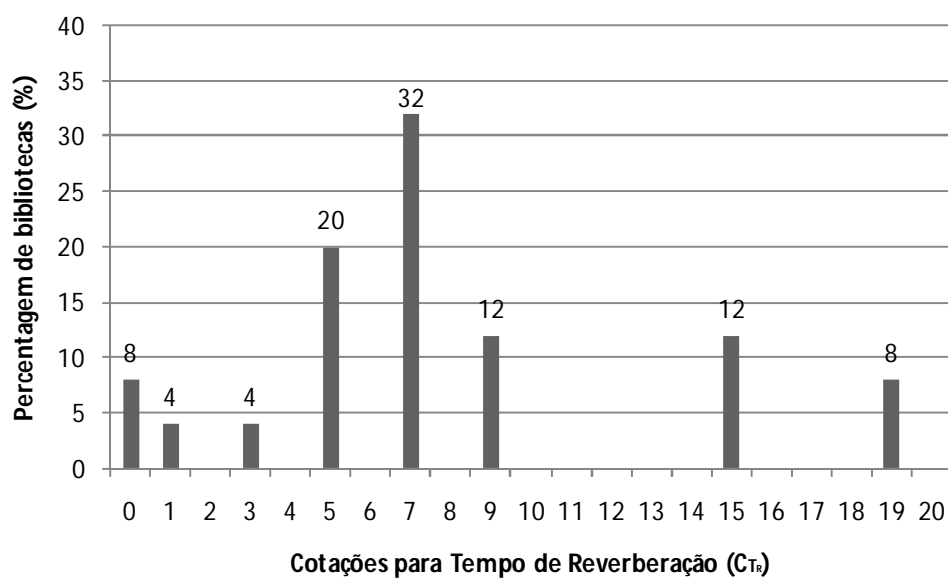


Figura 5.3 – Histograma das cotações do critério  $T_R$ .

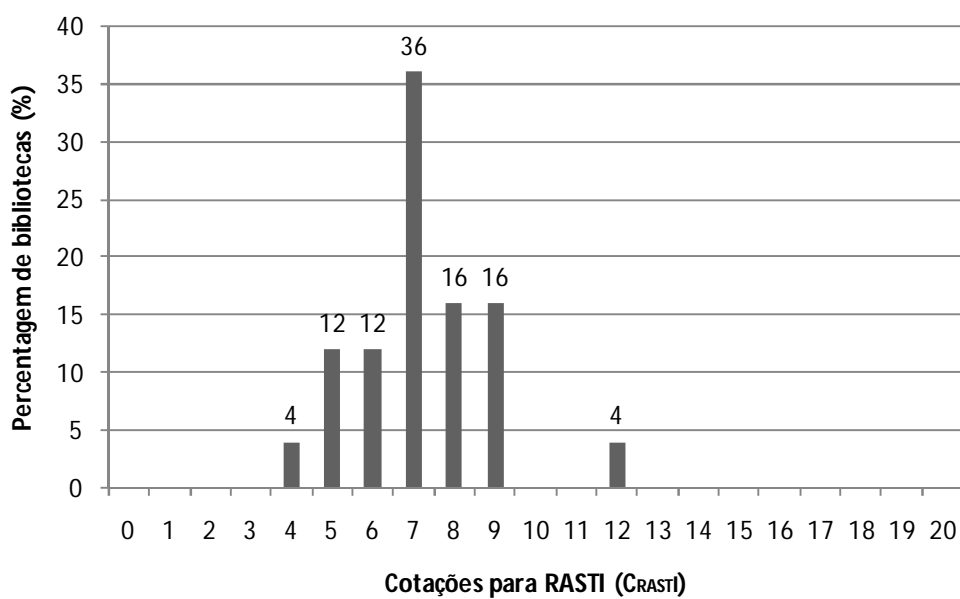


Figura 5.4 – Histograma das cotações do critério  $RASTI$ .

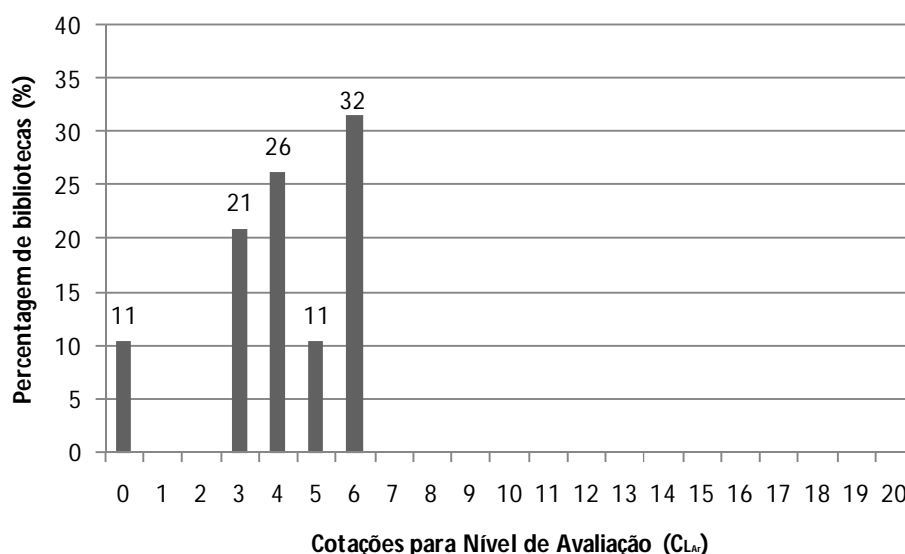


Figura 5.5 – Histograma das cotações do critério  $L_{Ar}$ .

A análise dos valores destes parâmetros também tem interesse quando correlacionada com os resultados do Índice de Qualidade Acústica das Bibliotecas. Na figura 5.6 podemos ver a correlação entre os valores médios do parâmetro tempo de reverberação e o  $IQAB$ , onde se observa que através de uma função polinomial de 2º grau é possível obter um grau de correlação de 0,95 ( $R^2$ ). Numa situação normal seria possível antever com grande grau de certeza a nota do índice  $IQAB$  de uma biblioteca em função do seu valor do tempo de reverberação médio (nos 500 Hz, 1kHz e 2kHz), contudo, neste caso, este elevado valor só se justifica devido à neutralidade de 34,5% dos resultados. Ou seja, esta correlação tão elevada ( $R^2=0,95$ ) deve-se ao facto dos parâmetros  $T_R$ , RASTI e  $L_{Ar}$  serem os únicos a variar e apenas representarem 65,5% dos resultados necessários para a correcta aplicação do método, havendo assim a neutralidade dos restantes 34,5% de resultados, parcela significativa que deverá influenciar esta correlação.

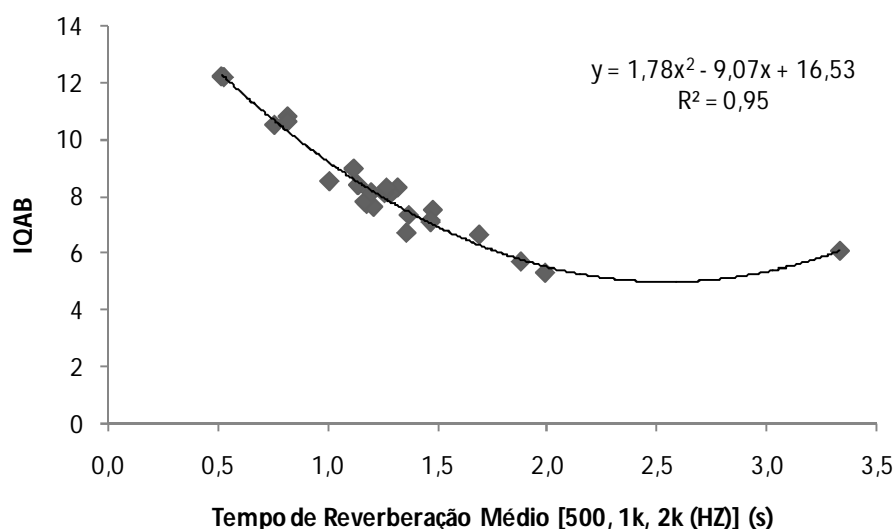


Figura 5.6 – Correlação entre valores médios de  $T_R$  e  $IQAB$ .

No critério RASTI (figura 5.7) verifica-se uma correlação ( $R^2$ ) de 0,71, valor alto mas menor face ao valor do critério  $T_R$ . O gráfico não representa pela sua linha de tendência o rumo definido pela escala de valor do critério RASTI visto que apresenta um aumento do valor de IQAB com o aumento do valor do RASTI, situação contrária à definida. Isto deve-se ao elevado peso do critério  $T_R$  na definição dos valores de IQAB, visto que se verifica uma variação inversamente proporcional dos valores dos parâmetros  $T_R$  e RASTI. Na figura 5.8 observa-se a correlação do critério  $L_{Ar}$  com o índice IQAB ( $R^2=0,43$ ), que permite concluir que não se podem tirar ilações quanto ao valor a esperar para o IQAB em função unicamente de  $L_{Ar}$  médio.

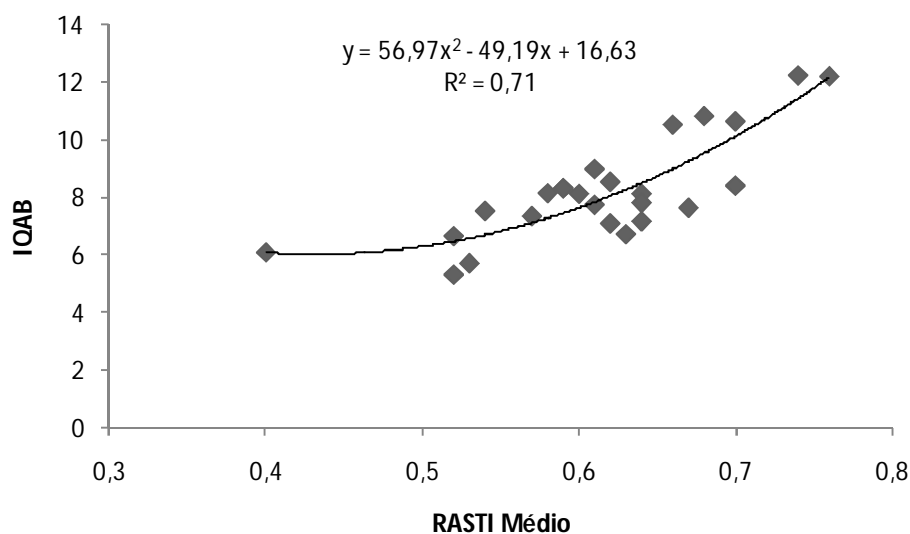


Figura 5.7 – Correlação entre valores médios de RASTI e IQAB.

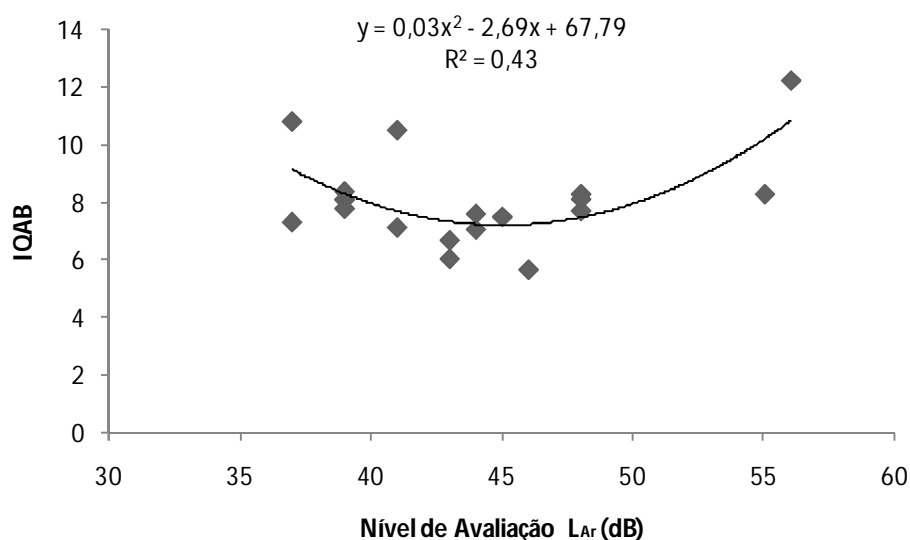


Figura 5.8 – Correlação entre valores médios de  $L_{Ar}$  e IQAB.

# 6

## “MÉTODO OPERACIONAL” DE CONTROLO DA QUALIDADE ACÚSTICA DE UMA BIBLIOTECA – CASO DA FEUP

### 6.1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo descreve-se o projecto “*Distributed Noise Monitoring System 2*” desenvolvido pelo *FEUP WSN Group* [2]. Este trabalho tem como principal objectivo a informação em tempo real do ruído produzido na biblioteca da FEUP. É também apresentado neste capítulo o questionário colocado aos alunos da FEUP acerca das condições acústicas da sua biblioteca, procurando relacionar esta opinião subjectiva com o valor obtido através do *IQAB*.

### 6.2. “DISTRIBUTED NOISE MONITORING SYSTEM 2”

#### 6.2.1. MOTIVAÇÕES E OBJECTIVOS DO PROJECTO

A motivação para o desenvolvimento deste projecto prendeu-se com a realidade vivida na biblioteca durante o período de exames, em que o nível de ruído aumenta em comparação com o restante período lectivo. Desta forma procurou-se desenvolver um sistema (baseado na experiência adquirida no DNMS1 [28]) que permite a monitorização e detecção das principais fontes de ruído informando os diversos utilizadores dos locais onde existem melhores condições acústicas. Como foi referido, o principal objectivo é a monitorização em tempo real do ruído produzido na biblioteca, tendo a informação recolhida os três seguintes objectivos: informar os utilizadores dos níveis de ruído na biblioteca para que possam escolher onde ficar; alertar os seguranças da biblioteca para o local onde são produzidos os ruídos; e analisar a existência de ruídos incomodativos sistemáticos procurando a sua eliminação.

#### 6.2.2. DESENVOLVIMENTO DO PROJECTO

Generalizando, pode-se dizer que o desenvolvimento do projecto passa por distribuir um conjunto de sensores pelos pisos 1, 2, 3 e 4 da biblioteca (locais onde se encontram os estudantes), que devem ter a capacidade de medir o nível de pressão sonora de forma a que depois do tratamento dos dados estes sejam apresentados ao utilizador através de mapas com diferentes zonas de níveis de ruído. O tipo de informação a retirar das medições efectuadas está dependente dos microfones que serão utilizados,

uma vez que não existe a possibilidade económica de colocar um grande número de sonómetros na biblioteca, que dariam informações bastante melhores do que os microfones a utilizar.

A ideia inicial passava pela medição do nível de pressão sonora em bandas de oitava, que seriam comparadas às curvas NC (3.2.3.4), obtendo uma determinada classificação. Contudo, nesta fase inicial de desenvolvimento do projecto, verificou-se que devido à capacidade das *motes* (conjunto microfone / sistema de armazenamento de dados) esta ideia não seria concretizável, pelo que se optou por utilizar o parâmetro  $L_{A,eq}$  (nível sonoro contínuo equivalente). Ainda devido à limitação de capacidade de armazenamento de dados das *motes*, a duração da medição deste parâmetro será da ordem dos 30 segundos em cada 5 minutos. Quanto à localização das *motes*, estas serão, preferencialmente, colocadas à altura dos ouvidos dos utilizadores através de tripés ou da suspensão, com cabos, ao tecto. Não sendo possível nenhuma destas situações, haverá também a possibilidade de serem “coladas” ao tecto, estando este nas imediações das *motes* revestido com material absorvente sonoro evitando assim a incorrecta avaliação de  $L_{A,eq}$  devido às reflexões das ondas sonoras no tecto. Por fim, o utilizador terá a possibilidade de aceder a esta informação através de uma página *web* e através de um LCD (*touch screen*) instalado na biblioteca. Nestes locais haverá a possibilidade de observar um mapa da biblioteca (como por exemplo o exposto na figura 6.1) onde se indicará, por zonas, o nível de ruído, usando para isso uma escala de cores a que corresponderão valores limite do nível sonoro contínuo equivalente,  $L_{A,eq}$  (quadro 6.1).

Quadro 6.1 – Valores limite previsíveis para a escala de cores em função dos valores de  $L_{A,eq}$ .

Nível	$L_{A,eq}$ (dB)
0	$\leq 40$
1	[41 ; 44]
2	[45 ; 48]
3	[49 ; 50]
4	[51 ; 52]
5	[53 ; 54]
6	[55 ; 56]
7	[57 ; 58]
8	[59 ; 60]
9	[61 ; 62]
10	$\geq 63$

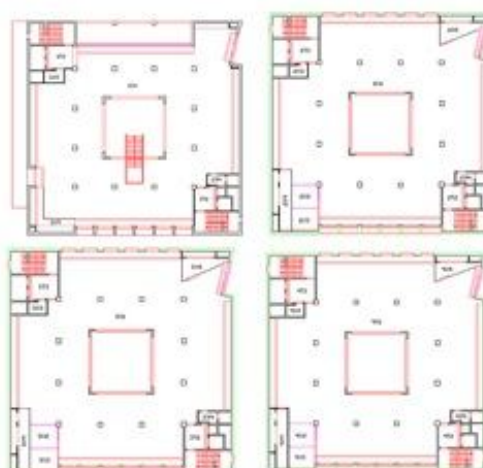


Figura 6.1 – Exemplo do mapa da biblioteca a utilizar para disponibilização da informação dos níveis de ruído [2].

### 6.3. RELAÇÃO “CLASSIFICAÇÃO *IQAB*” VS “OPINIÃO DOS UTILIZADORES”

#### 6.3.1. ENQUADRAMENTO

Uma vez que a biblioteca da FEUP é o ponto comum dos trabalhos abordados (tese de mestrado de A. Costa (2009) [3] e DNMS2 [2]), optou-se neste trabalho por procurar obter uma relação entre a classificação obtida por esta biblioteca através da aplicação do algoritmo desenvolvido e a opinião dos utilizadores sobre as condições acústicas do local. Assim, através dos meios disponibilizados pela faculdade (e-mails dinâmicos) foi possível difundir um questionário disponível *on-line* [29] para que os alunos da FEUP pudessem responder a questões sobre a qualidade acústica da sua biblioteca. De referir que este questionário, apesar de baseado no questionário feito aos funcionários, terá a interpretação dos resultados diferenciada deste, uma vez que se tratam de dois públicos alvo diferentes: emprego (funcionários) e utilização (alunos).

#### 6.3.2. QUESTIONÁRIO – DEFINIÇÃO, APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

##### 6.3.2.1. Definição do questionário

O questionário colocado à disposição dos alunos da FEUP foi adaptado do questionário colocado aos funcionários das bibliotecas (4.3). Assim, como o objectivo deste novo questionário é a relação entre a classificação *IQAB* da biblioteca e a opinião dos utilizadores relativamente à qualidade acústica, apenas as questões 1, 2 e 5 (ver questionário em 4.3.1) seriam necessárias. Contudo, optou-se por colocar também a questão 3 com o intuito de tentar perceber se a opinião dos utilizadores vai, neste caso, ao encontro dos pesos definidos para os critérios do algoritmo desenvolvido.

Assim, o questionário elaborado teve as questões que se seguem, com as respectivas alternativas de resposta:

- 1) Considera a biblioteca da FEUP mais ruidosa do que a sua habitação?  
Não, nunca ☐  
Sim, por vezes ☐  
Sim, sempre ☐

- 2) Considera que o ruído afecta o seu rendimento quando está na biblioteca?  
Todos os dias ☐ Muitas vezes ☐ Algumas vezes ☐ Poucas vezes ☐ Nunca ☐
- 3) Dos seguintes **ruídos** quais são para si os mais incomodativos/perturbadores quando está na biblioteca? Ordene de 1 (mais incomodativo) a 7 (menos incomodativo) [Não repita números].  
\_\_\_ Ruído do átrio/entrada  
\_\_\_ Ruído de conversação dentro da(s) própria(s) sala(s) de leitura  
\_\_\_ Ruído proveniente de outras salas ou locais contíguos (não de leitura)  
\_\_\_ Ruído de percussão (passos, saltos, bater de portas, queda de objectos, etc.)  
\_\_\_ Ruído do exterior (tráfego, etc.)  
\_\_\_ Ruído dos equipamentos de ventilação/aquecimento  
\_\_\_ Ruído de outros equipamentos (elevador, computadores, etc.)
- 4) Até quanto (em euros) estaria disposto(a) a ver as suas propinas aumentadas para tornar excelentes as condições acústicas da biblioteca?  
0 € ☐ 2 € ☐ 4 € ☐ 6 € ☐

#### 6.3.2.2. Apresentação do questionário

Tal como o anterior questionário em 4.3.2, também esta segue a norma NP 4476 [26], em que a apresentação da informação essencial dos inquéritos deve obedecer a um conjunto de especificações mínimas, seguidamente apresentadas, fundamentais para avaliar a possibilidade de efectuar comparações com outros inquéritos. Uma vez mais, visto que o presente inquérito não se enquadra exactamente no campo de aplicação da norma, alguns itens foram eliminados por não se ajustarem a este conjunto de especificações.

##### f) Aspecto Global

- Data do inquérito: realizado de Abril a Junho de 2009;
- Localização: todos os inquéritos foram difundidos pela internet através da *web page*: <http://www.surveygizmo.com/s/128461/qualidade-ac-stica-da-biblioteca-da-feup>.
- Selecção do local do inquérito: biblioteca da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto;
- Objectivo do estudo: quantificar a incomodidade dos vários tipos de ruídos presentes nas bibliotecas; qualificar a importância da acústica no quotidiano dos utilizadores de bibliotecas.

##### g) Amostra do Inquérito Social

- Selecção da amostra: a amostra relaciona-se com o local de inquérito, sendo exclusiva a alunos da biblioteca da FEUP;
- Tamanho e qualidade da amostra: 242 inquéritos preenchidos, dos quais todos foram consideradas válidos.

##### h) Levantamento de Dados do Inquérito Social

- Métodos do inquérito: preenchimento autónomo por parte do inquirido;
- Exactidão da estimativa da amostra: 242 respostas para a análise principal.

##### i) Condições Acústicas

- Fonte de ruído: acústica de edifícios – ruídos de condução aérea, ruídos de percussão e ruídos de equipamentos e instalações;



- Exactidão da estimativa do ruído: considera-se a estimativa exacta, de acordo com os dados obtidos e devido à impossibilidade de efectuar melhor estimativa dentro do prazo estipulado.
- Análise Básica Dose/Resposta: análise detalhada no subcapítulo 6.3.2.3.

### 6.3.2.3. Análise dos resultados

A análise das respostas foi novamente feita através de tratamento estatístico, tendo sido todo o processo de tratamento dos dados efectuado automaticamente pelo *site* onde o questionário foi difundido. Os gráficos apresentados não são os fornecidos pelo *site* uma vez que se considerou conveniente manter a estrutura já adoptada para os gráficos deste trabalho. Contudo, apenas a forma de apresentação foi alterada, não havendo qualquer modificação dos valores apresentados.

A questão 1 (“*Considera a biblioteca da FEUP mais ruidosa do que a sua habitação?*”) cujas respostas são apresentadas na figura 6.2 mostra que a maioria dos utilizadores (60%) não considera a biblioteca mais ruidosa do que a própria habitação. Dos restantes utilizadores 33% considera que *por vezes* a biblioteca é mais ruidosa do que a sua habitação enquanto apenas 7% consideram que esta situação se verifica *sempre*.

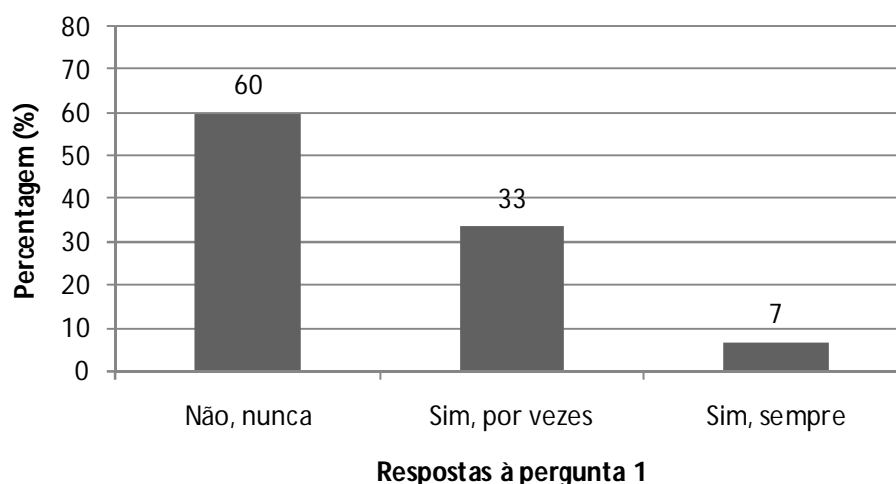


Figura 6.2 – Percentagem de respostas à pergunta 1 do questionário (“*Considera a biblioteca da FEUP mais ruidosa do que a sua habitação?*”).

A biblioteca da FEUP obteve a classificação de 8,0 valores no índice *IQAB*, segundo a abordagem I (5.3.2). Apesar deste valor negativo no *Índice de Qualidade Acústica das Bibliotecas*, nota-se claramente a subida da percentagem de respostas “*Não, nunca*” que passa de 28% para 60% quando comparado com o questionário dos funcionários. Por outro lado, a maior queda na percentagem de respostas foi na alternativa “*Sim, sempre*” que passa dos 25% para os 7%. De notar que apesar da classificação global não ser positiva (8,0 valores) mas estar perto do mínimo para essa condição (10,0 valores), apresenta já boas condições gerais pelo menos no que diz respeito à temática abordada nesta questão.

A questão 2 (“*Considera que o ruído afecta o seu rendimento quando está na biblioteca?*”) apresenta, tal como no questionário dos funcionários, uma maior distribuição da percentagem de respostas pelas

diversas opções (figura 6.3). Pode mesmo observar-se que esta distribuição é muito semelhante à anteriormente verificada (figura 4.2), o que revela a manutenção da posição dos utilizadores em geral (utilizadores e funcionários) face ao incómodo causado pelo ruído no seu rendimento.

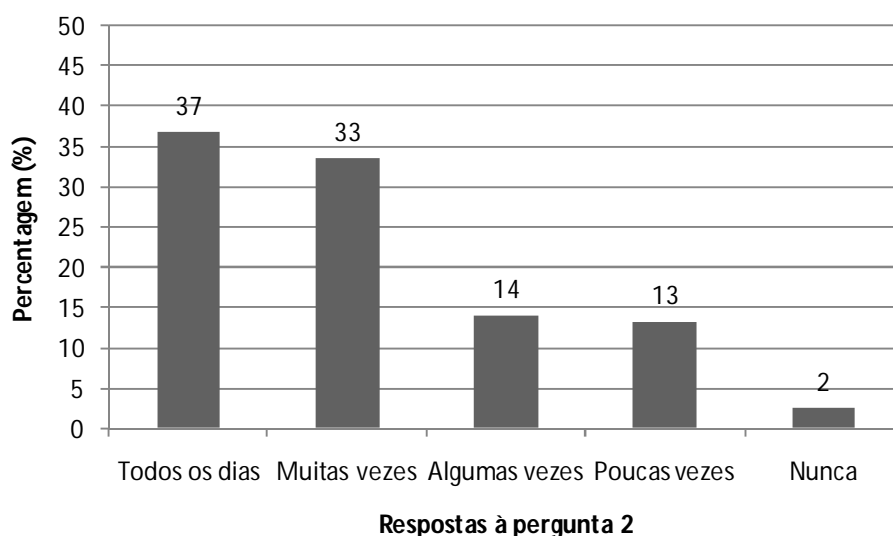


Figura 6.3 – Percentagem de respostas à pergunta 2 do questionário (*“Considera que o ruído afecta o seu rendimento quando está na biblioteca?”*).

A questão 3 (*“Dos seguintes ruídos quais são para si os mais incomodativos/perturbadores quando está na biblioteca?”*) é utilizada para tentar aferir se a opinião dos utilizadores se coaduna com os pesos definidos para os critérios do algoritmo. Assim, opta-se por uma análise mais simples do que a efectuada para o anterior questionário (4.3.3). Da figura 6.4 pode concluir-se que há, na maioria das categorias de ruído definidas, uma distribuição das percentagens de respostas pelas classificações de incomodidade que não varia significativamente. As excepções são a elevada percentagem (31%) da categoria *ruído de conversação dentro da própria sala de leitura* para a classificação 1 e as elevadas percentagens das categorias *ruído do átrio/entrada* (32%) e *ruído do exterior* (34%) na classificação 7. Convém, no entanto, destacar que a obtenção de resultados idênticos aos obtidos no conjunto das bibliotecas numa única biblioteca será muito difícil, uma vez que cada biblioteca tem o seu conjunto de particularidades, sendo precisamente esta a razão pela qual se procurou obter respostas ao questionário dos funcionários por parte do maior número possível de bibliotecas.

Por último, a questão 4 (*“Até quanto (em euros) estaria disposto(a) a ver as suas propinas aumentadas para tornar excelentes as condições acústicas da biblioteca?”*), cujas opções de resposta são os valores de 0 €, 2 €, 4 € e 6 €, obteve os resultados apresentados na figura 6.5. Quando comparada com a figura 4.16, que indica a distribuição de percentagens para a questão correspondente a esta no questionário dos funcionários, verifica-se um decréscimo da percentagem de inquiridos na resposta 0 € o que significa que os alunos da FEUP consideram a problemática do ruído mais importante que os funcionários. Esta conclusão é atestada pela diferença entre as respostas de alunos e funcionários para qualquer valor diferente de 0 € para 2 € passa de 11% para 14%, para 4 € passa de 4% para 9% e para 6 € passa de 6% para 7%, que no total passam de 21% para 30%.

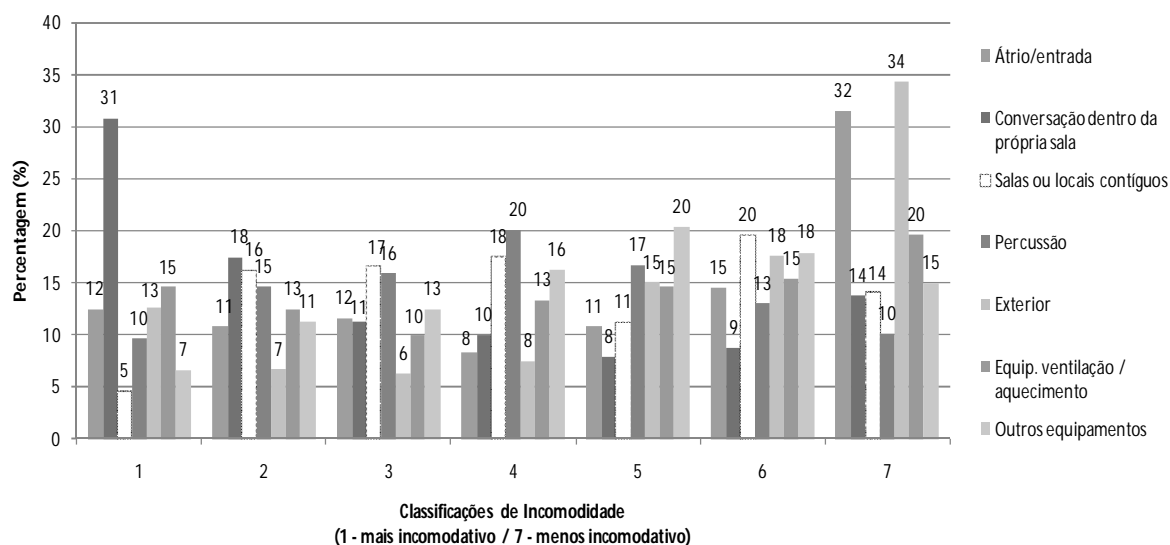


Figura 6.4 – Percentagem, por cada categoria, de todas as classificações obtidas.

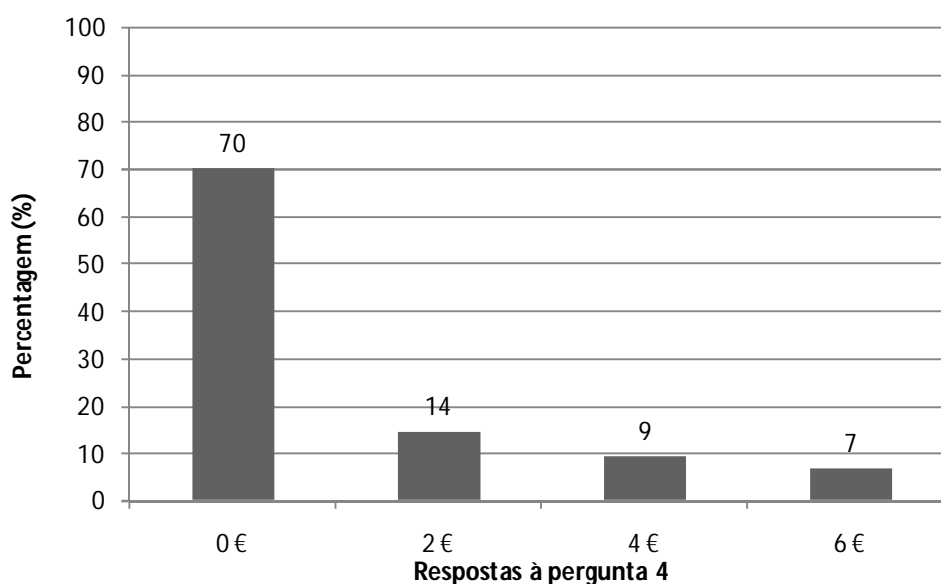


Figura 6.5 – Percentagem de respostas à pergunta 4 do questionário ("Até quanto (em euros) estaria disposto(a) as suas propinas aumentadas para tornar excelentes as condições acústicas da biblioteca?").

### 6.3.3. CONCLUSÕES

Da análise realizada ao questionário pode desde logo concluir-se que será necessário efectuar o mesmo questionário a bibliotecas com outras classificações de *IQAB* com o intuito de obter meios de comparação entre as diversas respostas, visto que a comparação com o questionário feito aos funcionários é demasiado vaga (este não apresenta uma classificação pelo que se torna difícil a comparação sem pontos de referência comuns).

Dos dados recolhidos pode retirar-se duas ilações mais significativas tendo em conta a classificação de 8 valores no *IQAB* obtido pela biblioteca da FEUP. Em primeiro lugar, a percentagem de respostas negativas (60%) no que diz respeito ao ruído na biblioteca face ao ruído nas habitações (questão 1),

obtendo assim um balanço “ligeiramente” negativo concordante com a nota da biblioteca no *IQAB*. Em segundo lugar, a proximidade das percentagens de resposta à questão 2 nos dois questionários, tendo a biblioteca da FEUP uma cotação próxima do valor médio da escala, pode indiciar que a distribuição apresentada no questionário dos funcionários seja também o valor médio.

É também de realçar a diferença na distribuição das classificações de incomodidade entre as respostas dadas pelos funcionários e as respostas dos alunos. Estes apresentam como principal factor incomodativo o ruído de conversação dentro da própria sala de leitura, seguido pelo ruído dos equipamentos de ventilação/aquecimento. Apesar de nesta classificação de incomodidade (a mais incomodativa) o ruído dos equipamentos de ventilação/aquecimento ter uma percentagem semelhante à das restantes categorias, o facto de se apresentar como a segunda categoria mais incomodativa ganha relevância quando comparado com o questionário dos funcionários em que se apresentava, na mesma categoria, como a categoria com menor percentagem. Por outro lado, quanto aos ruídos menos incomodativos destacam-se o ruído do átrio/entrada e o ruído do exterior. Não obstante a alguns valores que se destacam dentro de cada classificação de incomodidade, neste questionário verifica-se uma distribuição mais homogénea das classificações pelas diversas categorias de ruído, o que evidencia a necessidade de dar continuidade a este estudo procurando validar, ou ajustar, os pesos atribuídos aos diversos critérios do algoritmo que define o *Índice de Qualidade Acústica das Bibliotecas* (IQAB).

# 7

## REQUISITOS DE CONDICIONAMENTO ACÚSTICO PARA BIBLIOTECAS

### 7.1. OBJECTIVO

Este capítulo tem como objectivo a produção de um documento onde constem os requisitos de condicionamentos acústicos a cumprir para que as bibliotecas proporcionem boas condições acústicas aos seus utilizadores e funcionários e tenham uma boa classificação no índice *IQAB*. Além de orientar o projectista sobre os valores a alcançar nos parâmetros definidos, deve informar o dono-de-obra a respeito dos valores que deve impor ao projectista. Desta forma, no documento produzido no âmbito deste trabalho não utiliza linguagem regulamentar, optando por linguagem simples e grafismo adequado. Como se compreenderá, será necessário, devido à sua importância, a referência aos valores mínimos regulamentares, embora o foco do documento sejam as excelentes condições acústicas que se devem verificar nas bibliotecas a construir.

Como já foi referido, este documento é apenas orientador do trabalho do projectista uma vez que dependendo da particularidade de cada caso este pode servir-se de um imenso número de soluções para atingir os objectivos propostos. Além disso, com a constante evolução dos materiais utilizados nesta área seria errado e restritivo a referência a soluções concretas.

### 7.2. DEFINIÇÃO DOS REQUISITOS

#### 7.2.1. DELINEAÇÃO DA ANÁLISE A EFECTUAR

A abordagem aos vários tipos de requisitos será feita por “áreas temáticas” – condicionamento acústico da sala de leitura, ruídos de condução aérea, ruídos de percussão e ruídos de equipamentos – que, caso seja necessário, se subdividem para que a definição de cada tipo de ruído seja feita conforme a divisão do algoritmo. Na análise de cada tipo de ruído são definidos os valores de cada parâmetro de acordo com quatro classes de uma escala subjectiva: *excelente*, *bom*, *suficiente* e *mau*.

## 7.2.2. CONDICIONAMENTO ACÚSTICO DA SALA DE LEITURA

### 7.2.2.1. Descrição dos parâmetros a abordar na área temática “Condicionamento acústico da sala de leitura”

Este tema está relacionado com os parâmetros que medem as condições de propagação do som dentro da própria sala. Assim, de acordo com o algoritmo definido, são dois os parâmetros a abordar nesta “área temática”: o tempo de reverberação e o RASTI.

#### 7.2.2.2. Tempo de Reverberação, $T_R$

No quadro 7.1 estão definidos os valores médios que o parâmetro  $T_R$  (500 Hz – 2 kHz) deve assumir para estar de acordo com determinada classificação. Importa referir que o valor mínimo regulamentar imposto pelo RRAE [15] para o tempo de reverberação, que segundo o artigo 7.º, ponto 1, alínea d) (quadro III do seu anexo) deve satisfazer:  $T \leq 0,15 \cdot V^{1/3}$  (500 Hz – 2 kHz). Da análise da fórmula e tendo em conta o elevado volume que as salas de leitura habitualmente têm pode-se concluir que as decisões do projectista terão bastante influência na classificação obtida para este parâmetro.

Quadro 7.1 – Escala de classificação dos valores do Tempo de Reverberação.

Classificação	Valores médios de $T_R$ (s)
Excelente	[0,5 ; 0,8[
Bom	[0,4 ; 0,5[ ou [0,8 ; 0,9[
Suficiente	[0,2 ; 0,4[ ou [0,9 ; 1,0[
Mau	< 0,2 ou $\geq 1,0$

#### 7.2.2.3. RASTI

Este parâmetro não tem a obrigação regulamentar de obedecer a um determinado valor, no entanto devido à sua importância deve ser alvo da atenção do projectista. No quadro 7.2 estão indicados os valores médios de RASTI em função da classificação.

Quadro 7.2 – Escala de classificação dos valores do RASTI.

Classificação	Valores médios de RASTI (adimensional)
Excelente	[0,0 ; 0,1[
Bom	[0,1 ; 0,3[
Suficiente	[0,3 ; 0,5[
Mau	[0,5 ; 1,0]

### 7.2.3. RUÍDOS DE CONDUÇÃO AÉREA

#### 7.2.3.1. Descrição dos parâmetros a abordar na área temática “Ruídos de condução aérea”

Nesta “área temática” são abordados os ruídos de condução aérea em função da sua proveniência, originando três tipos: ruído proveniente do átrio/entrada, ruído proveniente de outras salas ou locais contíguos e ruído proveniente do exterior.

#### 7.2.3.2. Ruídos de condução aérea provenientes do átrio/entrada

O ruído produzido no átrio/entrada (designado em diante somente por átrio) pode ser tratado de duas formas: através da minoração desse ruído no próprio local ou através do isolamento/contiguidade do átrio face à sala de leitura.

A minoração do ruído é alcançada através da absorção sonora dos materiais existentes no átrio. Este parâmetro está descrito no RRAE [15], através de um valor mínimo para a área de absorção sonora equivalente, definido pela alínea e) do ponto 1 do 7.º artigo, como sendo de 25% da área de pavimento do local a considerar. Pelo quadro 7.3, onde se encontram definidas as classificações a atribuir à absorção sonora do átrio dependendo da área de absorção sonora equivalente em função da percentagem de área de pavimento, verifica-se que o valor mínimo regulamentar apenas alcança a classificação de *suficiente*. Obedecendo aos valores definidos pelo documento da Direcção-Geral do Livro e das Bibliotecas (DGLB) sobre os “Requisitos de Condicionamento Acústico” [27], a classificação alcançada sobe para a classe *bom*, devido à exigência por parte deste documento de uma área de absorção sonora equivalente igual a 60% da área do pavimento.

Quadro 7.3 – Escala de classificação dos valores da absorção sonora do átrio.

Classificação	Valores da Área de Absorção Sonora Equivalente (% de área do pavimento)
Excelente	> 75
Bom	]0,50 ; 0,75]
Suficiente	]0,25 ; 0,50]
Mau	≤ 25

O ruído proveniente do átrio pode também ser minorado através da majoração do isolamento/contiguidade deste em relação à sala de leitura. Isto é, quanto melhor for o isolamento sonoro ou mais longe estiver o átrio da sala de leitura, menor será o efeito na sala de leitura do ruído produzido no átrio. Assim, pode-se verificar pelo quadro 7.4 quais as condições de posicionamento e isolamento que conduzem a cada classificação.

Quadro 7.4 – Escala de classificação dos valores do isolamento/contiguidade do átrio.

Classificação	Condições de posicionamento e isolamento do átrio face à sala de leitura
Excelente	Não existe qualquer ligação que permita a passagem do ruído do átrio/entrada para a sala de leitura
Bom	Não há contiguidade entre átrio/entrada e sala de leitura mas existe abertura que permite a passagem do ruído
Suficiente	Contiguidade entre átrio/entrada e sala de leitura em que a divisória tem isolamento sonoro satisfatório
Mau	Contiguidade entre átrio/entrada e sala de leitura em que a divisória não tem isolamento sonoro satisfatório

#### 7.2.3.3. Ruído proveniente de outras salas ou locais contíguos

O ruído produzido nos locais contíguos à sala de leitura é avaliado dependendo do isolamento sonoro, através do parâmetro  $D_{nT,w}$ , que no algoritmo teve a designação de  $D_{nT,w,salas\ contíguas}$ . As classificações a atribuir a este parâmetro seguem o exposto no quadro 7.5, cumprindo o valor mínimo regulamentar de 45 dB definido no artigo 7.º, ponto 1, alínea b) (quadro II do anexo do RRAE) [15] obtém-se a classificação de *suficiente*, que é melhorada caso sejam cumpridas as indicações do documento da DGLB [27] que impõe 55 dB como mínimo para este parâmetro, elevando para *bom* a sua classificação.

Quadro 7.5 – Escala de classificação dos valores de  $D_{nT,w,salas\ contíguas}$ .

Classificação	Valores de $D_{nT,w,salas\ contíguas}$ (dB)
Excelente	$\geq 56$
Bom	[50 ; 55]
Suficiente	[45 ; 49]
Mau	$< 44$

À parte do isolamento sonoro conferido pela divisória há um conjunto de casos particulares aos quais se deve dar bastante atenção apesar da sua aparente insignificância.

Os espaços de ar têm uma influência bastante negativa no isolamento sonoro. A existência de espaços de ar é vulgar verificar-se na frincha que habitualmente as portas possuem ao longo de todo o seu perímetro. Este pequeno espaço de ar pode provocar um decréscimo de até 10 dB no isolamento sonoro de uma divisória e pode ser eficazmente reduzido se utilizados os mecanismos adequados, que pode ir desde a simples utilização de batente duplo na porta, com material resiliente, passando pela supressão da frincha inferior através de mecanismos adequados ou através de portas com tratamento acústico.



Outra forma de degradação do isolamento sonoro é através de transmissões parasitas. Estas são bastante comuns nas paredes de fachada devido às aberturas para ventilação e às caixas de estore mas também ocorrem entre divisões internas, num fenómeno cada vez mais recorrente, devido aos tectos falsos. O seu tratamento é simples quando efectuado em fase de construção visto que se cinge à utilização das soluções adequadas, como por exemplo nas situações que ocorrem nas fachadas através do uso de grelhas de admissão de ar com tratamento acústico ou da inclusão de material absorvente sonoro na caixa de estore. Nos tectos falsos a divisória deve ser prolongada até ao tecto estrutural ou, caso se pretenda utilizar este espaço como zona técnica, deve ser preenchido com um material absorvente sonoro (por exemplo lã de rocha), evitando assim a propagação do som neste espaço.

#### 7.2.3.4. Ruídos provenientes do exterior

O ruído proveniente do exterior é avaliado pelo índice de isolamento sonoro a ruídos de condução aérea,  $D_{2m, nT, w}$ , entre o exterior e o interior do edifício, surgindo a sua escala de classificações no quadro 7.6. pela análise do regulamento RRAE [15] verifica-se que o valor mínimo admitido será de 33 dB (artigo 7.º, ponto 1, alínea a)) que leva a uma classificação de *suficiente*, que, ao contrário dos restantes critérios, é piorada se cumpridas as indicações do documento da DGLB [27] passando à classificação de *mau* devido aos 30 dB exigidos como mínimo.

O índice de isolamento sonoro a ruídos de condução aérea entre o exterior e o interior do edifício é bastante afectado pelas transmissões parasitas, que podem ser tratadas de acordo com o exposto em 7.2.3.3. De um modo geral existem duas formas de melhorar o comportamento acústico de um elemento construtivo face aos ruídos aéreos, que são o aumento da massa desse mesmo elemento e/ou a duplicação física do mesmo.

Quadro 7.6 – Escala de classificação dos valores de  $D_{2m, nT, w}$ .

Classificação	Valores de $D_{2m, nT, w}$ (dB)
Excelente	$\geq 42$
Bom	[39 ; 41[
Suficiente	[33 ; 38[
Mau	$\leq 32$

#### 7.2.4. RUÍDOS DE PERCUSSÃO

Os ruídos de percussão podem incomodar todo um edifício devido às ligações rígidas entre elementos estruturais em conjunto com a rapidez de propagação do som nos sólidos. Os ruídos de percussão são representados pelo índice de isolamento sonoro a ruídos de percussão,  $L'_{nT, w}$ , cuja escala de classificação dos valores está patente no quadro 7.7. O RRAE [15] através do artigo 7.º, ponto 1, alínea c) aponta o valor de 60 dB como máximo para este critério, o que leva a uma classificação de *mau* na escala definida. O documento da DGLB [27] impõe o mesmo valor do regulamento para este critério, obtendo assim a mesma classificação.

Quadro 7.7 – Escala de classificação dos valores de  $L'_{nT,w}$ .

Classificação	Valores de $L'_{nT,w}$ (dB)
Excelente	$\leq 47$
Bom	[48 ; 50]
Suficiente	[51 ; 55]
Mau	$\geq 56$

Tal como no caso dos ruídos aéreos, existe para os ruídos de percussão uma enorme variedade de soluções, com diferentes particularidades, que não faria sentido abordar. Apenas realçar que de um modo geral o combate a este tipo de ruídos se faz através da redução da sua capacidade de propagação, cortando a continuidade dos elementos estruturais com materiais resilientes ou através do uso deste tipo de materiais como revestimento dos pavimentos.

#### 7.2.5. RUÍDOS DE EQUIPAMENTOS

O ruído dos equipamentos, representado por  $L_{Ar}$  – nível de avaliação do ruído particular de equipamentos colectivos do edifício – respeita o exposto no quadro 7.8 relativamente aos valores definidos para cada classificação. Como se verifica neste quadro, é necessário ter conhecimento do tipo de funcionamento do equipamento, no entanto caso haja a omissão desta informação deve usar-se a escala de classificações para equipamentos com funcionamento contínuo visto ser mais exigente. Apesar do parâmetro utilizado para representar o ruído dos equipamentos ser o nível de avaliação do ruído particular de equipamentos do edifício ( $L_{Ar}$ ), a definição da escala de valores deste parâmetro é feita com base no novo regulamento RRAE, admitindo um tempo de reverberação médio na sala ( $T$ ) de cerca de 0,5 s o que, de acordo com a expressão 3.19 (do parâmetro  $L_{Ar,nT}$ ), faz com que a correcção  $10.\log(T/T_0)$  seja cerca de zero. Os valores regulamentares são definidos no RRAE [15] pelo artigo 7.º, ponto 1, alínea f) (quadro IV do seu anexo), conduzindo à classificação de *suficiente* para os dois casos (35 dB(A) para equipamentos com funcionamento intermitente e 30 dB(A) para equipamentos com funcionamento contínuo). Caso se sigam as indicações do documento da DGLB [27], que impõe, sem distinção do tipo de funcionamento do equipamento, que o nível de ruído por estes produzido seja no máximo de 30 dB(A), verifica-se a manutenção da classificação para equipamentos de funcionamento contínuo enquanto para os equipamentos de funcionamento intermitente se observa a passagem da classificação para *bom*.

Quadro 7.8 – Escala de classificação dos valores de  $L_{Ar}$ .

Classificação	Valores de $L_{Ar}$ , func. intermitente (dB)	Valores de $L_{Ar}$ , func. contínuo (dB)
Excelente	$\leq 27$	$\leq 22$
Bom	[27 ; 30]	[22 ; 25]
Suficiente	[30 ; 35]	[25 ; 30]
Mau	$> 35$	$> 30$

O crescimento do número de equipamentos nos edifícios é contínuo, contudo muitos dos equipamentos e instalações que tradicionalmente se instalam nos edifícios (em que se incluem também as bibliotecas) não são devidamente aplicados no sentido de minorar o ruído que provocam. Como já foi referido, em grande parte das situações o efeito negativo em termos acústicos destes equipamentos e instalações poderia ser evitado. Por um lado, em fase de projecto, através de um correcto dimensionamento e adequada organização dos compartimentos mais ruidosos, afastando-os e isolando-os dos locais mais sensíveis. Por outro lado, através da correcta execução, providenciando a dessolidarização entre as máquinas e as tubagens e entre as tubagens e as paredes, colocando apoios ou suspensores anti-vibráteis consoante estejam nas paredes e piso ou no tecto, e utilizando materiais e máquinas com boas características em termos acústicos.

Dos equipamentos/instalações mais comuns nos edifícios destacam-se três – canalizações, instalações eléctricas e elevadores – que na maioria das vezes não são correctamente instalados face às suas implicações no ambiente acústico. Assim, a título indicativo, seguem-se algumas soluções que possibilitam a minimização destes ruídos [12]:

a) Canalizações

- Evitar velocidades excessivas de escoamento;
- Evitar mudanças bruscas de diâmetro e direcção;
- Envolver as canalizações com material adequado (coquilhas);
- Utilizar equipamentos menos ruidosos;
- Evitar a presença de ar nas tubagens.

b) Instalações eléctricas

- Não colocar caixas eléctricas no mesmo enfiamento da parede;
- Selar a passagem de cabos em paredes leves ou pavimentos;
- Evitar luzes fluorescentes.

c) Elevadores

- Afastar a casa das máquinas e o próprio elevador de locais sensíveis ao ruído;
- Isolar o motor do elevador da estrutura que o suporta;
- Utilizar equipamentos menos ruidosos;
- Aumentar a massa superficial da envolvente da caixa de elevadores e da casa das máquinas.

### **7.3. NOTA FINAL**

A existência de um documento executado ou pelo menos revisto por um perito acerca de questões técnicas específicas, como no caso da acústica, é essencial para que o dono-de-obra e os projectistas tenham uma linha orientadora do seu trabalho. A existência deste tipo de documento deve contudo proporcionar ao projectista a possibilidade de adoptar as soluções que entender serem as mais adequadas. Assim, sugere-se que o documento elaborado seja um guia para os projectistas no que diz respeito ao condicionamento acústico das bibliotecas.



## 8

## CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

### 8.1. CONCLUSÕES

O objectivo principal do estudo foi o desenvolvimento de um algoritmo baseado na metodologia multi-critério para avaliação da qualidade acústica das bibliotecas. Desta forma estudaram-se, dos diversos parâmetros acústicos, quais os que mais se adequavam à inclusão no algoritmo de forma a traduzir o desempenho acústico global das bibliotecas.

Verificou-se que a metodologia multi-critério é um método que permite com grande facilidade reproduzir, através de diversos critérios e da correcta importância relativa a atribuir a cada um, o desempenho que se pretende assegurar em relação à qualidade acústica das bibliotecas. O comportamento acústico da biblioteca poderia ser talvez mais adequadamente traduzido por parâmetros acústicos subjectivos, no entanto visto que nenhum trabalho foi desenvolvido nesta área, tentou-se colmatar esta lacuna com a elaboração de um questionário proposto aos funcionários das bibliotecas públicas sobre a qualidade acústica em geral, que permitiu ser um ponto de partida para a definição dos critérios a adoptar no algoritmo, assim como os respectivos pesos de cada critério. Foi igualmente elaborado um questionário aos alunos da FEUP sobre a qualidade acústica geral da sua biblioteca.

Relativamente ao auxílio à definição dos pesos de cada critério, o questionário permitiu tirar conclusões quanto à importância relativa de cada categoria de ruído. Todavia os valores obtidos no questionário não podem ser directamente aplicados ao algoritmo visto que é necessário enquadrar estes valores nos critérios que compõem esse mesmo algoritmo. Uma vez que os ruídos foram divididos por “categorias”, para mais fácil compreensão dos inquiridos, foi possível auferir a importância relativa que estes atribuem a cada categoria. Assim, a opinião dos funcionários das bibliotecas resulta na seguinte distribuição da importância relativa das categorias de ruído: 25% para o ruído proveniente do átrio/entrada, 25% para o ruído de conversação dentro da própria sala, 20% para o ruído proveniente de outras salas ou locais contíguos, 15% para os ruídos de percussão, 10% para o ruído proveniente do exterior e 5% para o ruído dos equipamentos. Contudo, a categoria *ruído dos equipamentos* foi considerada por 15% dos alunos da FEUP como sendo a *mais incomodativa*, obrigando assim a que seja incrementado no algoritmo o *peso* do critério correspondente a esta categoria. Os ruídos dos equipamentos de aquecimento/ventilação e de outros equipamentos formam, juntos, apenas um critério uma vez que, devido à sua pequena importância e à dificuldade de diferenciação dos dois tipos de ruídos durante uma medição, não se justifica a sua divisão.

A definição dos critérios utilizados no algoritmo proposto surge quase intuitivamente após a análise dos requisitos para a boa qualidade acústica das bibliotecas, tendo sido complementada pelos trabalhos na área da acústica que utilizaram o mesmo método e corroborada pelos resultados dos questionários.

Devido à sua importância são inicialmente analisados dois parâmetros relativos ao condicionamento acústico das salas: o tempo de reverberação e o RASTI (*Rapid Speech Transmission Index*), que sendo parâmetros disponíveis na amostra utilizada (obtida através da tese de mestrado da FEUP “Caracterização Acústica de Bibliotecas em Portugal e Análise de Influência na Reabilitação Acústica” [3] de A. Costa (2009)) terão um papel preponderante. A utilização do tempo de reverberação é quase obrigatória devido ao seu uso tradicional nesta área. Este encontra-se relacionado com o efeito que todos os tipos de ruído terão na sala de leitura uma vez que dá a indicação da duração dos ruídos nesse espaço, proporcionando assim importância acrescida a este critério. O RASTI encontra-se directamente relacionado com a categoria “ruído de conversação dentro da própria sala de leitura”, através da quantificação da inteligibilidade da palavra. Outro parâmetro cujos valores são fornecidos pela amostra e que integra o conjunto de critérios é o ruído dos equipamentos, que se enquadra na representação das condições acústicas interiores, mais concretamente na produção de ruído no interior dos espaços. A capacidade de isolamento dos espaços a ruídos aéreos é reproduzida pelos índices de isolamento sonoro a ruídos de condução aérea entre compartimentos interiores contíguos e das paredes exteriores. O ruído produzido no átrio é estudado através de dois parâmetros, a absorção sonora e o isolamento/contiguidade entre este e a sala de leitura. O isolamento sonoro a ruídos de percussão apresenta, através da análise do questionário, uma importância relevante pelo que também será considerado. Obtêm-se assim os seguintes oito critérios que fazem parte do algoritmo multi-critério a desenvolver:  $T_R$ , RASTI,  $A_{\text{átrio}}$ ,  $D_{\text{átrio}}$ ,  $D_{nT,w,\text{salas contíguas}}$ ,  $D_{2m,nT,w}$ ,  $L'_{nT,w}$  e  $L_{Ar}$ .

A diferença de tratamento entre o átrio/entrada e as salas contíguas à sala de leitura está relacionada com a posição relativa entre estes dois espaços e a sala de leitura. Se por um lado, como o próprio nome indica, as salas contíguas à sala de leitura se encontram lado a lado tendo sempre uma separação física entre estas e a sala de leitura, justificando-se a adopção do isolamento sonoro a ruídos aéreos ( $D_{nT,w}$ ) como parâmetro caracterizador do elemento de separação, por outro lado a posição do átrio/entrada relativamente à sala de leitura não é igual em todos os casos. Desta forma, opta-se por adoptar o subcritério  $D_{\text{átrio}}$  que representa o isolamento/contiguidade do átrio face à sala de leitura e o subcritério  $A_{\text{átrio}}$  que representa a absorção sonora do átrio e que se irão complementar.

A atribuição das escalas de valor para cada critério foi feita através da correspondência de um valor ou intervalo de valores reais dos parâmetros acústicos a uma escala normalizada de 0-20 valores, tal que a cotação de 20 valores equivale ao valor óptimo do parâmetro e a cotação 0 ao valor totalmente inaceitável. Esta normalização dos valores dos parâmetros tem como objectivo o uso da mesma escala para os diferentes critérios com o propósito de obter uma cotação final para a biblioteca nessa mesma escala, mantendo o peso relativo previamente estabelecido para cada critério. As condições acústicas ideais para uma sala que se pretende silenciosa, bem como as condições mínimas regulamentares, serviram de referências na definição das escalas de valor de cada um dos critérios.

Independentemente da fonte dos ruídos perceptíveis na sala de leitura de uma biblioteca pública, cabe à reverberância da sala um papel de destaque neste estudo uma vez que o tempo de reverberação dita o maior ou menor tempo de permanência dos ruídos na sala, tendo influência sobre todos os tipos de ruído. Devido à elevada relevância, opta-se por atribuir ao tempo de reverberação uma importância relativa de 40%. Valor que é atribuído de modo subjectivo visto que a análise dos questionários não permite a quantificação deste valor. A interpretação dos resultados do questionário realizado aos funcionários deve ser enquadrada na realidade presente, isto é, no contexto das bibliotecas. Desta forma, e apesar da distribuição da importância relativa de cada parâmetro que resulta do questionário,

considera-se que se deve valorizar em termos de *peso* para o algoritmo as categorias de ruído que, numa análise subjectiva e sem ter em conta o questionário efectuado, mais influenciam o ruído no interior da sala de leitura, isto é, os ruídos produzidos no interior dessa sala, que são representados pelas categorias *ruído de conversação dentro da própria sala*, *ruídos de percussão* e *ruído dos equipamentos*. Assim, tendo em conta estes dois factores (conclusões do questionário e enquadramento no contexto das bibliotecas) é realizada uma nova distribuição da percentagem de importância de cada categoria de ruído.

Atribuído o *peso* ao critério tempo de reverberação (40%), resta adaptar as informações fornecidas pelos inquéritos, com as devidas correcções, aos *pesos* dos restantes critérios que compõem o algoritmo. O peso destes critérios é definido com base na categoria que cada um deles representa, sendo posteriormente adaptada a sua importância relativa há percentagem que resta (60%). As duas categorias com maior *peso* são o *ruído proveniente do átrio/entrada* (20%) e o *ruído de conversação dentro da própria sala de leitura* (30%), que em conjunto têm 50% da importância relativa das categorias remanescentes. Os restantes 50% são distribuídos da seguinte forma: 15% para o ruído de percussão, 12,5% para o ruído dos equipamentos, 12,5% para o ruído proveniente de salas ou locais contíguos e 10% para o ruído do exterior. Desta forma é possível conciliar o enquadramento na realidade das bibliotecas com a importância relativa entre as categorias do mesmo tipo obtidas através do questionário, isto é, os “ruídos produzidos no interior da sala de leitura” têm importância superior (ou pelo menos igual) aos ruídos produzidos na envolvente e dentro do grupo de ruídos produzidos no interior da sala de leitura a categoria *ruído de percussão* mantém a superioridade face à categoria *ruído dos equipamentos*, tal como a categoria *ruído proveniente de outras salas ou locais contíguos* mantém a superioridade face à categoria *ruído do exterior* nos “ruídos produzidos na envolvente”. Desta forma, obtém-se o algoritmo de classificação do *Índice de Qualidade Acústica das Bibliotecas*, IQAB:

$$IQAB = 0,40 \times C_{TR} + 0,18 \times C_{RASTI} + 0,09 \times C_{L'_{nT,w}} + 0,075 \times C_{L_{Ar}} + 0,075 \times C_{D_{nT,w,salas}} + \\ 0,06 \times C_A + 0,06 \times C_D + 0,06 \times C_{D_{2m,nT,w}}$$

Verificou-se, através da consulta da tese de mestrado de A. Costa (2009) [3], a ausência de equipamentos de ventilação/aquecimento em algumas bibliotecas, pelo que se impõe a alteração da fórmula de IQAB para considerar a possível inexistência deste parâmetro. A eliminação do critério  $C_{L_{Ar}}$  origina uma redistribuição dos *pesos* pelos restantes critérios, que será realizada através da distribuição uniforme do *peso* deste critério pelos restantes. Assim sendo, a fórmula alternativa de IQAB adquire a seguinte forma:

$$IQAB_{(sem L_{Ar})} = 0,432 \times C_{TR} + 0,195 \times C_{RASTI} + 0,097 \times C_{L'_{nT,w}} + 0,081 \times C_{D_{nT,w,salas}} + \\ 0,065 \times C_A + 0,065 \times C_D + 0,065 \times C_{D_{2m,nT,w}}$$

Para testar a viabilidade do algoritmo usou-se a amostra proporcionada pela tese de mestrado de A. Costa (2009) [3], que permitiu obter os valores dos parâmetros tempo de reverberação ( $T_R$ ), RASTI e nível de avaliação do ruído particular dos equipamentos colectivos ( $L_{Ar}$ ). A aplicação destes valores consistiu na padronização destes através das escalas previamente definidas, seguida de três análises aos valores globais de IQAB, obtidos por arbítrio dos valores dos critérios não abrangidos pela amostra fornecida pelo trabalho de A. Costa (2009) [3]. A amostra disponível contempla valores numéricos (medidos) para apenas três dos oito critérios utilizados no algoritmo proposto. Apesar de, em conjunto, estes três critérios terem um peso significativo (66%), a indisponibilidade dos valores nos restantes critérios obriga à atribuição, para esses critérios, de valores iguais para todas as salas que sejam “irrelevantes” para a nota final e intercomparação entre salas. Assim, opta-se por realizar três

abordagens (I, II e III) destes valores a arbitrar: o uso de valores intermédios da escala de valor (10 valores) em todos os critérios, o uso de valores regulamentares mínimos (RRAE [15]) nos critérios em que haja esta possibilidade de aplicação ou o uso dos valores impostos pelo documento produzido pela Direção-Geral do Livros e das Bibliotecas (DGLB), intitulado “Requisitos de Condicionamento Acústico” [27], que possibilita uma análise que se julga mais aproximada do requerido aquando da execução de uma biblioteca.

Das classificações do *Índice de Qualidade Acústica das Bibliotecas* das três abordagens pode concluir-se que caso se cumpram os requisitos de condicionamento acústico definidos pela DGLB [27] obter-se-á ou uma classificação ligeiramente superior à verificada nas restantes condições, ou, em algumas bibliotecas, uma classificação igual à obtida na abordagem I. Verifica-se ainda que as notas de *IQAB* da abordagem III em que se utilizam os valores definidos pelo documento da DGLB [27] são iguais ou em média cerca de 0,1 valores superiores às dos valores intermédios (I). Por seu turno os valores deste índice obtidos pela análise com valores intermédios (I) são cerca de 0,8 valores superiores aos obtidos pela análise com valores regulamentares (II). Assim pode constatar-se que ao cumprir os valores impostos pelo documento da DGLB (“Requisitos de Condicionamento Acústico” [27]), em detrimento dos valores regulamentares, se está a melhorar a classificação da biblioteca no índice *IQAB* em cerca de 0,8 valores. A ausência dos valores dos cinco critérios indisponíveis pode justificar a baixa variabilidade dos valores obtidos pelas bibliotecas no *IQAB*, comprovada pelo valor reduzido (1,8 valores) e igual do desvio-padrão, para as três abordagens. A abordagem I, com os valores neutrais dos critérios, é a mais adequada para as restantes análises aos valores obtidos.

Nas melhores classificações, com cerca de 12 valores, ficaram as Bibliotecas Municipais de Alverca do Ribatejo e de Vila Nova de Gaia. Pela análise das cotações dos critérios verifica-se que esta nota se deve à excelente cotação (19 valores) obtida no critério  $C_{TR}$  (com  $T_R$  de 0,5 segundos). De notar que esta relação entre a nota final de *IQAB* e as cotações dos critérios não é totalmente acertada uma vez que cinco dos oito critérios que compõem o algoritmo, tendo um peso de 34%, não estão disponíveis na amostra.

Quanto às piores notas globais estas verificam-se na Biblioteca Nacional (Lisboa), com cerca de 5 valores e na Biblioteca Geral da Universidade de Coimbra e na Biblioteca Municipal de Santa Maria da Feira com cerca de 6 valores do *IQAB*. Analisando os valores dos seus critérios atesta-se mais uma vez a preponderância do critério tempo de reverberação face aos restantes. Isto porque se constata que estes três casos são os que obtêm pior nota no critério  $C_{TR}$  (0 e 1 valores com  $T_R$  de, respectivamente, 2,0, 3,3 e 1,9 segundos), o que influencia a descida abrupta da nota de *IQAB* apesar de terem dos melhores resultados obtidos para o critério RASTI. Mais uma vez verifica-se que apesar das boas notas noutros parâmetros não é possível ter consciência do real e absoluto valor de uma biblioteca em termos acústicos devido à falta dos valores dos critérios que não são abrangidos pela amostra disponível.

Relativamente aos valores dos critérios a que a amostra se cinge, podem tirar-se algumas conclusões quanto aos valores obtidos na amostra e à repercussão do seu significado no *Índice de Qualidade Acústica das Bibliotecas*. Os valores do tempo de reverberação médio disponíveis na amostra utilizada, compreendem uma vasta gama que vai desde os 0,5 s aos 3,3 s. Contudo, apesar de, respectivamente, originarem cotações para o critério  $C_{TR}$  entre os 19 e os 0 valores, constata-se que apenas cinco dos 25 valores disponíveis na amostra são positivos, estando todos acima dos 14 valores. De igual forma verifica-se que a maior variabilidade de valores ocorre para valores negativos deste critério, originando a média de 8 valores. A análise dos valores de *IQAB* nas diversas abordagens revela que apenas as cinco bibliotecas com boa cotação neste critério obtiveram boa cotação no *IQAB*, o que se justifica devido à elevada importância deste critério e à falta de 34% dos valores de outros



critérios. O critério que representa o parâmetro RASTI é o segundo com mais peso no algoritmo. Os valores médios de RASTI da amostra variam entre 0,40 e 0,76 o que conduz às cotações limites deste critério de, respectivamente, 12 e 4 valores, verificando-se assim uma menor variabilidade do que a apresentada pelo tempo de reverberação. Contudo os valores concentram-se na zona central da escala de valores originando a média de 7 valores para o critério  $C_{\text{RASTI}}$ , o que denota a fraca preocupação com este parâmetro. O critério que representa o nível de avaliação do ruído particular dos equipamentos colectivos não é tão significativo na cotação do *IQAB* como os dois critérios apresentados previamente, todavia, como já foi referido, é considerado por 15% dos alunos da Biblioteca da FEUP (Porto) como sendo o ruído mais incomodativo. Também se demonstra pelas cotações obtidas que é o critério que tem a média mais baixa (4 valores), não se verificando qualquer valor positivo (cotação máxima de 6 valores), o que indica o incumprimento do RRAE [15] em todas as bibliotecas que compõem a amostra. Atesta-se desta forma a negligência perante as características de produção de ruído dos equipamentos instalados nas bibliotecas.

Uma análise estatística aos valores obtidos para o *IQAB* na abordagem I conduz à conclusão de que a maioria das bibliotecas apresenta más condições acústicas, com uma mediana dos valores de *IQAB* de 8,3. Saliente-se o facto da melhor nota apresentar apenas a classificação de “suficiente”, o que de certa forma é agravado pela análise do panorama geral em que se constata que 80% das bibliotecas da amostra têm “mediócras” ou “más” condições acústicas. Apesar das fracas classificações obtidas pelas bibliotecas convém salientar a falta dos valores de cinco parâmetros, correspondentes a 34% do *peso* da nota do *IQAB*. Admite-se que a pequena variabilidade (entre 5,6 e 12,7 valores) dos valores de *IQAB* possa estar relacionada com a indisponibilidade dos valores reais de alguns critérios do algoritmo. Caso os parâmetros em falta tenham valores muito diferentes dos arbitrados, a alteração da cotação dos respectivos critérios pode originar uma diferença razoável na nota do *IQAB*. Perante estas condições, as análises efectuadas devem ser lidas tendo em conta este aspecto de importância significativa.

Apesar da falta de valores reais dos critérios já referida e que condiciona as cotações das bibliotecas no índice *IQAB*, observa-se que as bibliotecas da amostra têm, na sua grande maioria, fracas condições acústicas. Devido a este facto desenvolveu-se um documento com os “Requisitos de Condicionamento Acústico das Bibliotecas segundo o *IQAB*” no sentido de orientar os projectistas para a melhoria das condições acústicas a proporcionar aos utilizadores das bibliotecas. Além de orientar o projectista sobre os valores a alcançar nos parâmetros definidos, deve informar o dono-de-obra a respeito dos valores que deve impor ao projectista, sendo igualmente apresentadas as soluções gerais para os vários tipos de ruído. Contudo, salvaguarda-se a importância de proporcionar ao projectista a possibilidade de adoptar as soluções que entender serem as mais adequadas para cada caso concreto.

Neste estudo descreveu-se também o projecto “*Distributed Noise Monitoring System 2*” desenvolvido pelo *FEUP WSN Group* [2]. Este trabalho tem como principal objectivo a informação em tempo real do ruído produzido na biblioteca da FEUP, pelo que, sendo uma forma de controlo da qualidade acústica de uma biblioteca, foi considerado oportuno o seu enfoque. O projecto é, em traços gerais, baseado na medição do ruído nos vários espaços da biblioteca, sendo os dados tratados e disponibilizados aos utilizadores num curto espaço de tempo através de uma página *web* ou de um *LCD* instalado na biblioteca.

Uma vez que a biblioteca da FEUP é o ponto comum dos trabalhos abordados (tese de mestrado de A. Costa [3] e DNMS2 [2]), optou-se neste trabalho por procurar obter uma relação entre a classificação obtida por esta biblioteca através da aplicação do algoritmo desenvolvido e a opinião dos utilizadores sobre as condições acústicas do local. Assim, foi efectuado um questionário para que os alunos da FEUP pudessem responder a questões sobre a qualidade acústica da sua biblioteca. Da análise

realizada ao questionário pode desde logo concluir-se que será necessário efectuar o mesmo questionário a bibliotecas com outras classificações de *IQAB* com o intuito de obter meios de comparação entre as diversas respostas. Dos dados recolhidos pode retirar-se duas ilações mais significativas tendo em conta a classificação de 8 valores no *IQAB* obtido pela biblioteca da FEUP. Em primeiro lugar, a percentagem de respostas negativas (60%) à questão “*Considera a biblioteca da FEUP mais ruidosa do que a sua habitação?*”, que obtém assim um balanço “ligeiramente” negativo, é concordante com a nota da biblioteca no *IQAB*. Em segundo lugar, a proximidade das percentagens de resposta nos dois questionários à pergunta relativa ao rendimento de trabalho do inquirido quando se encontra na biblioteca, tendo a biblioteca da FEUP uma cotação próxima do valor médio da escala, pode indiciar que a distribuição apresentada no questionário dos funcionários seja também o valor médio. É também de realçar a diferença na distribuição das classificações de incomodidade entre as respostas dadas pelos funcionários e as respostas dos alunos. Estes apresentam como principal factor incomodativo o ruído de conversação dentro da própria sala de leitura, seguido pelo ruído dos equipamentos de ventilação/aquecimento. Apesar de nesta classificação de incomodidade (a mais incomodativa) o ruído dos equipamentos de ventilação/aquecimento ter uma percentagem semelhante à das restantes categorias, o facto de se apresentar como a segunda categoria mais incomodativa ganha relevância quando comparado com o questionário dos funcionários em que se apresentava, na mesma categoria, como a categoria com menor percentagem (talvez porque muitas bibliotecas não tenham sistema de ventilação/aquecimento, ou tendo-os, não os usam). Por outro lado, quanto aos ruídos menos incomodativos destacam-se o ruído do átrio/entrada e o ruído do exterior. Apesar da existência de alguns valores que se destacam dentro de cada classificação de incomodidade, neste questionário verifica-se uma distribuição mais homogénea das percentagens de cada classificação pelas diversas categorias de ruído, o que evidencia a necessidade de dar continuidade a este estudo procurando validar, ou ajustar, os pesos atribuídos aos diversos critérios do algoritmo que define o *Índice de Qualidade Acústica das Bibliotecas (IQAB)*.

## 8.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

O estudo da acústica das bibliotecas, que teve início com o trabalho desenvolvido por A. Costa (2009) [3] seguido pelo presente trabalho, encontra-se ainda no começo pelo que muitos estudos sobre esta temática podem ser desenvolvidos.

O algoritmo desenvolvido no presente trabalho requer a validação dos pesos dos seus critérios através de meios mais eficazes, visto que, apesar de baseados nas respostas dos funcionários das bibliotecas ao inquérito, têm ainda uma avaliação subjectiva do autor. Assim, além de possíveis inquéritos a utilizadores de bibliotecas deve também ser feito um estudo de avaliação subjectiva que podia consistir no seguinte: um grupo de auditores é solicitado para se dirigir a várias bibliotecas onde, após sujeito a determinadas condições acústicas, responde a um questionário fazendo uma avaliação dos parâmetros acústicos subjectivos do local. Desta forma é possível correlacionar estes parâmetros com os parâmetros acústicos objectivos integrantes do algoritmo de forma a verificar ou corrigir a distribuição dos pesos pelos critérios.

Devem também desenvolver-se as medições dos restantes parâmetros acústicos objectivos relacionados com os critérios do algoritmo para que se possam obter os valores reais do *IQAB* de cada biblioteca da amostra. Estes valores devem ser comparados com os resultados dos testes acústicos subjectivos dessas mesmas bibliotecas para validar o algoritmo.

Se forem mantidos os parâmetros acústicos que caracterizam os critérios do algoritmo verifica-se que é necessário um conjunto alargado de medições para que se obtenha o valor de *IQAB*. Para facilitar

esta medição deve procurar estudar-se outro tipo de parâmetros (arquitectónicos, por exemplo) que usufruam de boas correlações com os parâmetros acústicos.

Para facilitar a compreensão do valor obtido através do *Índice de Qualidade Acústica das Bibliotecas*, deve ser realizado um conjunto de questionários às diversas bibliotecas que compõem a amostra no sentido de obter uma relação entre o valor objectivo do *IQAB* e uma classificação subjectiva das condições acústicas que cada valor deste índice representa, tal como foi feito no subcapítulo 6.3 do presente trabalho.

Por último, ao longo do desenvolvimento do estudo da acústica em bibliotecas, deve procurar actualizar-se o documento produzido sobre os requisitos de condicionamento acústico das bibliotecas.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] [http://whale.fe.up.pt/wsnwiki/index.php/Main\\_Page](http://whale.fe.up.pt/wsnwiki/index.php/Main_Page), acessido em 27/05/2009.
- [2] [http://whale.fe.up.pt/wsnwiki/index.php/Distributed\\_Noise\\_Monitoring\\_System\\_2](http://whale.fe.up.pt/wsnwiki/index.php/Distributed_Noise_Monitoring_System_2), acessido em 27/05/2009.
- [3] Costa, António Eduardo Batista. *Caracterização Acústica de Bibliotecas em Portugal e Análise de Influência na Reabilitação Acústica*. Dissertação de Mestrado, FEUP, 2009.
- [4] <http://www.slideshare.net/ladonordeste/histria-das-bibliotecas>, acessido em 04/03/2009.
- [5] [www.bnportugal/index.php?option=com\\_content&view=article&id=82&Itemid=90](http://www.bnportugal/index.php?option=com_content&view=article&id=82&Itemid=90), acessido em 13/03/2009.
- [6] Vidal, Diana. *Metodologia multi-critério para análise da qualidade acústica em salas de audiência de tribunais*. Dissertação de Mestrado Integrado, FEUP, 2008.
- [7] Loureiro, José. *Metodologia multi-critério para análise da qualidade acústica em igrejas*. Dissertação de Mestrado Integrado, FEUP, 2008.
- [8] <http://paginas.fe.up.pt/~carvalho/igrejas.htm>, acessido em 04/03/2009.
- [9] <http://images.google.pt/imgres?imgurl=http://absurdo.files.wordpress.com/2008/03/biblioteca-angelica-3.jpg&imgrefurl=http://absurdo.wordpress.com/category/fotografia/&usq=1IkC0vchhmhTQ0ogh5g3KIWlado=&h=336&w=433&sz=63&hl=pt-PT&start=6&um=1&tbnid=BE6aZ2DZ8RYO5M:&tbnh=98&tbnw=126&prev=/images%3Fq%3Dbiblioteca%26hl%3Dpt-PT%26sa%3Dg%26um%3D1>, acessido em 20/05/2009.
- [10] [http://farm4.static.flickr.com/3263/3249698662\\_a90c6ccc9f.jpg](http://farm4.static.flickr.com/3263/3249698662_a90c6ccc9f.jpg), acessido em 20/05/2009.
- [11] Kinsler, Lawrence. *Fundamentals of Acoustics*, 1982.
- [12] Carvalho, A. P. Oliveira de. *Acústica Ambiental e de Edifícios*. Porto, 2008.
- [13] Recuero Lopez, Manuel. *Acústica arquitectónica aplicada*, 1999.
- [14] Cavanaugh W. e Wilkes J. (ed.). *Architectural Acoustics - Principles and Practice*, J.W. & Sons, Inc., 1999.
- [15] Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE). Decreto-Lei n.º 96/2008 de 9 de Junho.
- [16] [http://www.engineeringtoolbox.com/nc-noise-criterion-d\\_725.html](http://www.engineeringtoolbox.com/nc-noise-criterion-d_725.html), acessido em 20/03/2009.
- [17] [http://www.engineeringtoolbox.com/nr-noise-rating-d\\_60.html](http://www.engineeringtoolbox.com/nr-noise-rating-d_60.html), acessido em 20/03/2009.
- [18] [http://behindthefence.files.wordpress.com/2008/12/open\\_space.jpg](http://behindthefence.files.wordpress.com/2008/12/open_space.jpg), acessido em 26/03/2009.
- [19] <http://www.bruel-ac.com/eng/indexgb.htm>, acessido em 26/03/2009.
- [20] Vincke, Philippe. *Multicriteria Decision-aid*, 1992.
- [21] Thomas, G., Theodor Stewart, J., Hanne, Thomas. *Multicriteria Decision Making: Advances in MCDM Models, Algorithms, Theory and Applications*. Kluwer Academic Publishers, 1999.
- [22] Monteiro Gomes, L., González Araya, M., Carignano, Cláudia. *Tomada de decisões em cenários complexos*. Thomson, 2004.
- [23] Bogetoft, P., Pruzan, P., *Planning with multiple criteria*. North-Holland, 1991.

- [24] Keeney, R., Raiffa, H.. *Decisions with Multiple Objectives: Preferences and Value Tradeoffs*. Cambridge University Press, 1993.
- [25] Antunes, C., *Casos de aplicação da investigação operacional*. McGraw-Hill, 2000.
- [26] *Norma Portuguesa 4476. Acústica. Avaliação da incomodidade devida ao ruído por meio de inquéritos sociais e sócio-acústicos*, 2008.
- [27] [http://www.dglb.pt/sites/DGLB/Portugu%C3%AAs/bibliotecasPublicas/documentacaoBibliotecas/Documents/Doc07\\_Condicionamento\\_Acustico.pdf](http://www.dglb.pt/sites/DGLB/Portugu%C3%AAs/bibliotecasPublicas/documentacaoBibliotecas/Documents/Doc07_Condicionamento_Acustico.pdf), acedido em 30/04/2009.
- [28] [http://whale.fe.up.pt/wsnwiki/index.php/APDL\\_Noise](http://whale.fe.up.pt/wsnwiki/index.php/APDL_Noise), acedido em 27/05/2009.
- [29] <http://www.surveygizmo.com/s/128461/qualidade-ac-stica-da-biblioteca-da-feup>, acedido em 28/05/2009.



